

# 数据中心自动驾驶网络白皮书

# 目录

# CONTENTS

<b>1 自动驾驶网络的产生背景和驱动力</b>	03
1.1 数据中心网络的挑战	03
1.2 数据中心网络的机遇	04
1.2.1 人工智能驱动的网络保障	04
1.2.2 数学验证技术的引入	04
1.2.3 意图驱动网络的发展	04
1.3 业界在积极行动	05
1.3.1 行业领导者大力规划实践网络自动驾驶	05
1.3.1 TOP标准组织积极推动网络自动驾驶标准	05
<b>2 华为自动驾驶网络战略解读</b>	06
<b>3 华为数据中心自动驾驶网络方案</b>	08
3.1 整体解决方案	08
3.2 意图决策模块	11
3.3 自动化模块	12
3.4 仿真验证模块	13
3.5 分析模块	15
3.6 数字仓库	16
3.7 用户体验	16
<b>4 华为数据中心自动驾驶网络典型应用场景</b>	19
4.1 规建环节：规划设计仿真并自动验收	19

# 目录

# CONTENTS

4.2 维护环节：自动翻译业务意图，自动验收，异常回退 ----- 21

4.3 维护环节：网络变更意图buildin，异常快速回退 ----- 24

4.4 维护环节：基于意图的网络监控，实现故障闭环 ----- 26

**4 华为数据中心自动驾驶网络典型应用场景 ----- 29**





# 01

## 自动驾驶网络的产生背景和驱动力

过去十多年来，数据中心无论在技术还是部署上都在极速发展，日新月异。粗略可以将其划分为三个阶段：

- 第一阶段是以数据中心大集中（Data Center Consolidation）为主的DC 1.0，对应的网络是传统的二层架构STP+VLAN。
- 第二阶段是以利用资源虚拟化（Virtualization）和服务动态管理（Dynamic Service Orchestration）为手段，提升资源共享利用率和资源部署灵活度的DC 2.0，网络架构演进到全互联的Overlay架构。

上述两个阶段技术上最大的分野为云计算技术的日趋成熟和大批量部署

- 第三阶段是为适应智能化时代所带来的业务量爆发性增长而产生的DC3.0，最大的特点是超大规模和分布式多地多中心，容器、RDMA等各种新技术都在应用中，网络架构的智能化要求也越来越高。

总结数据中心的发展趋势，可以看出数据中心发展始终以支撑业务发展为中心，以开放性、高容量、易扩展、成本可控和安全稳定为要求，最终实现业务弹性适配、应用快速部署、信息互通共享、系统分布扩展和负载灵活调度等各种能力的不断提升。

这些发展趋势对数据中心的规模、成本、规划设计、部署建设、维护优化、运营管理等各个方面都产生了巨大影响和全新要求。面对这些新要求，当前的数据中心运营管理方案显得力不从心。产业界普遍达成共识，寻求建立一套更加高度智能化的网络管理方案来应对。

通过将人工智能、数学验证及意图驱动网络等关键核心技术和理念的引入，我们针对数据中心构建了一套自动驾驶网络方案，围绕全面智能化和自动化的终极目标进行阶段式迭代发展，逐步演进到全面智能自治的数据中心网络。

### 1.1 数据中心网络的挑战

- 大企业和运营商面临管理大规模网络的诉求，仅靠人工管理很难满足要求，需要引入网络自动化管控系统，自动化配置和编排大规模网络比人工操作更安全、高效。
- 企业数字化转型对网络敏捷性、可用性等需求日益增加，网络变更频繁，传统运维方式无以为继，急需自动化管控系统能够在网络运行中实时验证网络设计实现状况、及时发现故障，减少业务中断时间。
- 云应用会跨越异构/多云的基础设施部署，但需要提供一致的网络服务，这就解决异构环境之间网络管理问题，使得用户能够完成以业务意图为导向的统一管控。同时，屏蔽基础设施层不同设备差异以及各种私有接口，进一步地解除厂商绑定。
- 企业投入成本受限，当前OTT对传统行业冲击巨大。企业面临巨大竞争压力，内在要求提升效率。网络投资也会受投入产出限制，降低OPEX压力越来越大，那么如何降低人工成本、提升网络性能成为CIO必须首要解决的问题。

- 企业投入成本受限，当前OTT对传统行业冲击巨大。企业面临巨大竞争压力，内在要求提升效率。网络投资也会受投入产出限制，降低OPEX压力越来越大，那么如何降低人工成本、提升网络性能成为CIO必须首要解决的问题。

## 1.2 数据中心网络的机遇

### 1.2.1 人工智能驱动的网络保障

人工智能是一个研究领域，它能赋予机器如人类般的智能。当今网络所产生的海量的配置，状态，告警，日志等运维数据呈指数型增长，数以万计甚至千万计的运维指标远远超出了运维人员可以有效利用的范围，监控阈值不合理或者“报警风暴”甚至对故障的判断产生巨大干扰，人工智能技术为更好地利用网络产生的数据提供了一种可能性。当前，基于人工智能技术对网络数据的分析，能够了解网络环境的复杂性，在网络故障发现，根因定位，网络资源预测等领域已经有了很多应用，显著提升了网络运维的效率。人工智能在网络运维领域的应用已经得到业界的广泛认可，Gartner预测，电信业整体AI市场将以48.8%的年复合增长率从3.157亿美元到2025年增至113亿美元，电信运营商主要将AI用于网络运营监控和管理，此期间这方面支出将占到电信业AI支出的61%。

### 1.2.2 数学验证技术的引入

数学验证技术又称为形式化验证，含义是根据某个或某些形式化规范或属性，使用数学的方法证明其正确性或非正确性。形式化验证方法通过严格的数学证明保证程序行为与预期一致，已经广泛应用于正确性要求极高的领域如无人机、航天器、操作系统等的程序正确性验证。在数据中心网络承载关键应用的金融行业，断网的损失高达6.89M美元每小时，而Gartner统计40%的网络事故是由于人工配置错误导致，因此网络配置的正确性的要求越来越高，使用形式化验证方法，可以将网络的配置文件信息和所要验证的预期属性如网络节点间的可达性，隔离性、路径信息（必经节点）、路由黑洞，均转换为一系列逻辑公式，使用数学求解器进行求解，这个方法称为网络变更仿真，可以最大程度的降低配置出错的概率，提升数据中心网络的可用性。

### 1.2.3 意图驱动网络的发展

意图驱动网络是一种在掌握自身“全息状态”的条件下，基于人类业务意图，借助人工智能技术进行搭建和操作的闭环网络架构。意图网络的概念最早由ONF在2015年2月提出。2017年2月，Gartner发布报告定义了基于意图的网络系统，并预言意图网络系统是网络领域的“下一件大事(The next big thing)”，预计到2020年底，1000+企业将部署意图网络系统。意图网络的目标是网络提供服务能力的进一步增强，以近似于人类语言的方式操作网络。根据定义，意图构成了全网范围的声明性（declarative）策略，人类操作员定义的是预期，而网络计算出可满足要求的解决方案。在数据中心领域，存在大量异构的设备和多云环境，意图驱动网络能够屏蔽这些差异，使网络管理员能够更为专注业务诉求。另外意图网络是一个闭环系统，这里面有两层含义，第一是网络的不断变化不影响已下发的意图，第二是如果监控发现意图不满足，系统需要主动进行调整以确保意图不受影响。

## 1.3 业界在积极行动

---

### 1.3.1 行业领导者大力规划实践网络自动驾驶

#### 金融：

工商银行：工商银行全面布局AIOps智能运维建设，逐步打造“智慧运维”新生态。在数据中心领域，工商银行于2017年下半年建立了面向数据中心大规模集群的云运维体系，提升云上应用自动化、精细化的运维水平，为智能运维的实施提供有力抓手，后续将进一步深化、推进智能运维建设，打造银行业智慧运维，向无人化运维的终极目标持续逼近，助力工商银行建设“智慧、开放、共享、高效、融合”的智慧银行信息系统，数据中心网络的自动驾驶是其中重要的组成部分。

#### 运营商：

中国联通：提出智能网络战略CUBE-AI，意在以创新技术助力网络智能化和业务智能化的发展，聚焦5G+AI、网络智能运维及行业创新，形成网络人工智能典型应用，迈向网络自动驾驶

中国电信：发布CTNET2025网络架构白皮书，全面启动了网络智能化重构，从目前按需、自助、弹性的网络服务向自动化闭环、意愿驱动的网络组织演变。短期目标减少业务发放时间50%-90%，减少中断次数50%。

### 1.3.2 TOP标准组织积极推动网络自动驾驶标准

- TMF：发布《自治网络：为电信行业数字化转型赋能》白皮书，首次定义了网络自动驾驶的分级标准，数据中心网络是其认为最适合首先落地自治网络（Autonomous networks）的领域
- ETSI：成立 ENI（可体验的智能网络）和ZSM（‘0’接触的网络和业务管理）工作组，专门研究网络智能化，ENI在2017年2月成立，其目标是定义一个感知-适应-决策-执行控制模型的体验式感知网络管理架构，通过人工智能技术提升客户在网络部署和操作方面的体验。其核心理念是网络感知分析，数据驱动决策，基于AI的闭环控制。当前已发布网络智能分级1.0，正式发布写入了数据中心网络智能的分级标准
- GSMA：发布《AI使能网络自动化（AI&Automation）》白皮书，认为5G时代需要一个高度智能的自动化网络，并逐步向智能自治网络演进；同时，实现智能自治网络需要“分层自治、垂直协同”的创新架构变革，逐步实现完全自治网络。



# 02

## 华为自动驾驶网络战略解读

实现全自治网络这一终极目标注定是一个长期的过程，需要分步实现。华为基于通信网络的复杂性，从客户体验、解放人力的程度和网络环境复杂性等方面，初步定义了数据中心的自动驾驶网络分级标准，并支持产业各方在级别划分方面最终形成统一的观点：

级别		特征	评估维度						
			执行	监视	分析	决策	闭环	场景	意图
L0	Manual Operation & Maintenance 手工操作运维	全人工操作	人工	人工	人工	人工	人工	NA	设备命令级
L1	Assisted Operation & Maintenance 工具辅助操作运维	少量场景基于设备命令行级基础工具辅助，人工分析决策	人工为主	系统为主	人工	人工	人工	少量	设备命令级
L2	Partial Autonomous Network 部分自治网络	部分场景基于网络模型级标准工具辅助，静态策略分析，人工决策	系统为主	系统为主	人工为主	人工为主	人工	部分	网络模型级
L3	Conditional Autonomous Network 限定条件自治网络	特定场景中基于动态策略分析，系统推荐辅助人工决策来实现动态策略的基础闭环	系统	系统	系统为主	系统为主	系统为主	多数	网络模型级 + 业务意图级
L4	Highly Autonomous Network 高度自治网络	绝大部分场景中基于业务意图级类自然语言进行交互，系统自动实现动态策略的完整闭环	系统	系统	系统	系统	系统	绝大部分	业务意图级
L5	Full Autonomous Network 全自治网络	任意场景中系统完成全部闭环	系统	系统	系统	系统	系统	任意	业务意图级

- **L0手工运维：**所有任务都依赖人执行
- **L1工具辅助操作运维：**少量场景中，系统基于已知重复性执行类、监视类任务提供了工具辅助用户来简化操作、提高重复性工作的执行率。例如，GUI配置向导，批量配置脚本或工具
- **L2部分自治网络：**部分场景中，系统基于网络模型级提供意图交互接口及辅助工具，用户摆脱对设备命令行的依赖，进一步降低了人员对经验和技能的要求；系统可基于一些预定义的静态策略进行固定的监视与分析，由人工决策

- **L3限定条件自治网络：**特定场景中，系统基于业务意图级提供意图交互接口及工具，大幅降低了用户对网络经验和技能的要求；系统可实时感知环境变化，并基于动态的策略进行监视与突发故障根因分析，给出推荐的决策闭环建议来辅助用户决策，实现基础的闭环管理
- **L4高度自治网络：**大部分场景中，用户可基于业务意图级类自然语言同系统交互，系统通过实时感知环境变化、预测和分析潜在劣化风险、突发故障快速根因分析，并动态自动调整网络参数进行问题修复和优化，实现对网络的完整闭环管理
- **L5全自治网络：**这是数据中心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动化能力，真正实现无人驾驶

从分级标准可以清楚的看出，自动驾驶网络是一个多维度，立体化的战略，这种阶梯式上升的级别不仅仅是评价一个网络的标准，也是循序渐进去推进自动驾驶网络战略的路线图。





# 03

## 华为数据中心自动驾驶网络方案

### 3.1 整体解决方案

作为全球领先的网络解决方案提供商，华为一直致力于引领为客户提供最优体验，凭借在数据中心网络领域的技术优势，以及7800+数据中心广泛应用带来的对自动化和运维业务的经验积累和深入理解，将AI、大数据、自动化等技术与数据中心网络领域深度结合，推出面向数据中心网络场景的自动驾驶网络智能管控运维系统iMaster NCE-Fabric。

iMaster NCE-Fabric的最终目标是实现数据中心网络L5自动驾驶，为用户提供数据中心网络全生命周期高度自动化能力，即在规-建-维-优的各个阶段，以用户意图（包括建网意图、业务意图、网络意图等）作为输入，iMaster NCE-Fabric可自动完成所对应意图的网络部署，并反馈执行结果是否符合预期。以下分场景举例说明，

#### 场景1：规划建设阶段：

- ① 用户购买iMaster NCE-Fabric一体机，开机即用。
- ② 用户输入规划意图：建设指定数量服务器规模的DC，可靠性要求（高、中、低）
- ③ iMaster NCE-Fabric基于意图输入自动规划网络并反馈网络方案和规划仿真结果
- ④ 用户确认规划方案（规划方案支持编辑修改）
- ⑤ iMaster NCE-Fabric自动建网完毕后，自动运行验收用例，并反馈建网结果

#### 场景2：维护阶段的业务变更：

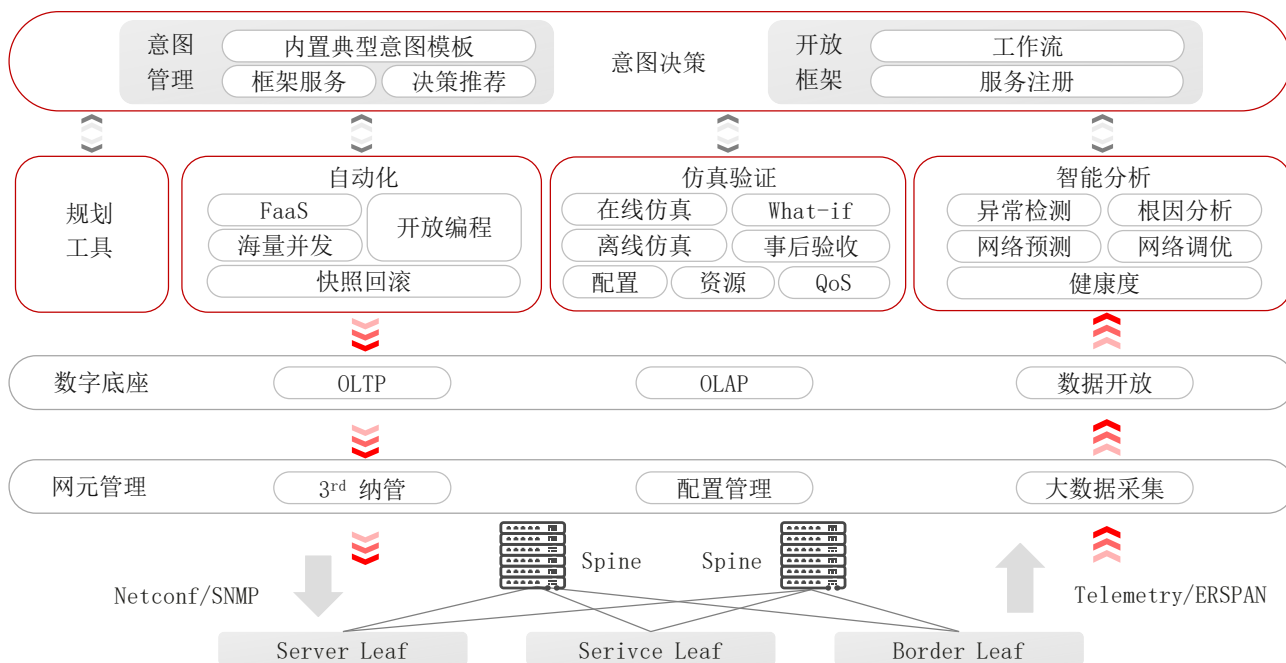
- ① 业务部门意图：需要开通应用A（分行-理财APP）到应用B（总行-风控系统）的访问权限
- ② 业务系统：调用对应的业务模板“内联应用互访开通”
- ③ iMaster NCE-Fabric将用户意图自动分解为网络变更方案，并反馈仿真评估结果
- ④ 网络管理员确认。
- ⑤ iMaster NCE-Fabric自动下发相应网络配置，并反馈业务验收报告。
- ⑥ 如验收出问题则进行快速回退操作

### 场景3：监控分析阶段：

- ① iMaster NCE-Fabric持续监控，预测网络故障或劣化，主动上报闭环或优化方案
- ② 管理员确认方案内容和修复影响性后，进行下发
- ③ iMaster NCE-Fabric自动优化网络，网络故障或劣化消弭于无形
- ④ iMaster NCE-Fabric主动检查网络的可靠性，例如设备故障、端口损坏、版本过期、密码过期等异常
- ⑤ iMaster NCE-Fabric基于发现的异常自动提交推荐升级方案、替换方案，并给出相应的风险评估
- ⑥ 管理员确认升级，替换方案
- ⑦ iMaster NCE-Fabric自动执行升级、替换操作，并生成升级、替换报告
- ⑧ 如果升级、替换失败，则执行快速回退操作

总结起来，iMaster NCE-Fabric整体架构和Gartner的数据孪生网络类似，包括三个层次，最底层：统一数据底座（事务型+大数据型）；中间层：规划工具、自动化控制、仿真验证、智能分析；上层：意图决策。

业务流如下：意图决策模块识别用户意图进而转化为相应网络意图，分别交给自动化模块和仿真验证模块进行网络配置部署和变更仿真验证。智能分析模块结合实时网络数据，进行大数据分析，并将分析结果反馈至意图决策模块进行变更决策，提供上述规、建、维、优各阶段的关键功能。



**意图决策模块：**1. 意图决策模块是网络自动驾驶的大脑，是从L2自动化走向L3意图驱动的核心标志。其以意图为核心，将规划设计、自动化配置、仿真校验、监控分析、故障恢复和网络调优进行有效组织，实现意图的全生命周期自动闭环。

- 意图的定义：从网络管理员视角，面向数据中心网络全生命周期，对外提供的网络服务和自身的日常操作，例如网络规划（新建、扩容）、网络建设（设备上线、应用上线）、业务变更（互联、外联、内联业务）以及日常监控分析（异常识别、故障恢复等），iMaster NCE-Fabric 内置部分网络常用的意图模板
- 意图的框架服务：围绕意图本身，也有一个全生命周期的管理，例如用户意图的识别、意图模板的推荐、意图的仿真验证、意图的自动化下发、意图的监控和异常回退；以及面向故障或者健康度的分析结果，自动推荐的修复方案、影响分析和下发、验收、回退
- 意图的开放：除了内置部分意图模板之外，iMaster NCE-Fabric 还提供一套极简易用的意图开放框架，用户可以通过图形化界面进行意图模板的定制开发，所开发的场景化API可以和客户工单、网管系统对接，融入到客户的IT环境中。

**自动化模块：**自动化模块是L2自动驾驶的核心，其核心能力包括Fabric as a Service (FaaS) 、开放性、高性能和高可靠。

- FaaS：iMaster NCE-Fabric的定位是整体网络管理系统的一部分，其北向可能面向各种云平台（OPS、UI、Kubernetes等），南向也会面向各种网络设备（交换机、路由器、3rd VAS等），所以自动化模型的核心之一就是通过抽象北向和南向通用模型来屏蔽各种差异，同时FaaS提供了面向计算资源的网络路径动态计算功能，能够根据指定的计算的部署位置，动态计算和部署东西向和南北向路径
- 开放性：以南北向通用模型为基础，构筑南北向的开放性，同时提供面向网元的单站配置、模板配置、批量配置功能，可以和BuildIn的业务模型灵活组合
- 高性能：自动化模块的基本工作就是从北向模型到南向模型的转换，高效是一个重要衡量指标，北向业务请求1W/分钟并发能力，在容器云和电信云场景成为标配能力
- 高可靠：确保性能的前提下，保证端到端数据一致性（南向和北向）和快速回退能力也是自动化模块关键的能力之一。

**仿真验证模块：**作为L3网络自动驾驶的一个亮点功能，其核心能力是基于现实数据中心网络构筑一个数字孪生，数字化模拟用户的重大意图的执行，验证意图的预期效果和对其他业务的影响，进而保证客户网络的可靠性。仿真验证面向的场景包括：规划网络校验、物理网络校验、逻辑网络校验、故障修复校验等，其核心能力包括：在线配置的仿真验证、离线配置仿真验证、事后验收以及所见即所得的what-if：

- 在线配置仿真验证：在自动化下发网络配置之前，通过仿真验证提供的DryRun能力，获取南向配置，模拟意图执行并基于用户意图进行验证，例如连通性、周边业务影响性等
- 离线配置仿真验证：仿真验证模块是和周边模块解耦的，可以独立部署或与客户系统集成，基于用户导入的拓扑和全量、增量配置，完成特定意图的仿真校验
- 事后验收：意图转化为网络配置下发后，通过算法或拨测的方式实现配置结果的验收
- 所见即所得的What-if能力：基于数字孪生的仿真环境，供用户完成基于场景的模拟演练，例如网元扩容/下线、链路中断/切换、路由策略调整等。

**智能分析模块：**智能分析模块：作为L3网络自动驾驶的核心之一，基于大数据采集的数字孪生底座，实现网络健康度分析、异常快速发现、根因定位等功能。

- 健康度：5层评估模型：设备、网络、协议、Overlay、业务；面向的维度：性能、容量、状态、安全攻击、连通性
- 异常快速发现：异常KPI、异常流检测、异常日志

- 根因定位：基于知识图谱+机器学习的故障根因定位，从大量异常衍生Issues中找到根因Issue，上报意图决策模块

**数据底座：**包括事务性关系数据库和大数据数据库，以及两类数据库之间的数据表关联

## 3.2 意图决策模块

---

### 3.2.1 痛点

业务网络开通难以敏捷化，变更效果不可控：

- 新业务需要上线时，网络运维人员不了解新业务对应的网络需求，需要和业务团队进行大量的沟通和澄清，业务网络开通难以敏捷化；且不同业务团队，不同业务的网络需求存在差异，仅靠单一系统难以完成所有业务覆盖
- 当出现网络故障时，网络运维人员难以判断故障的具体影响性，以及如何快速闭环恢复业务
- 网络人员难以判断当前网络的资源容量是否满足新业务的诉求，网络利用率是否合理，以及何时应该进行网络扩容

### 3.2.2 主要功能和价值

意图决策模块的核心是意图管理模块，功能包括：

- 意图的识别
- 意图如何转换为网络配置
- 意图的事前仿真验证
- 事后意图监控以及诊断
- 意图保障失效后，通过故障修复手段修复

意图决策模块内置了数据中心常用的意图模板（build-in），除此之外，为了适应不同用户的需求，还提供开放可编程能力，用户可以自定义新的意图模板，还可以通过工作流的方式来组装已有的意图模板形成一个新的意图模板。随着意图决策模块智能化能力的提升，系统的意图识别能力会越来越强，这也意味着用户实际需要输入的参数越来越少。比如一个意图操作正常需要10个参数，意图决策模块会基于用户输入的少量信息，如3个基础参数，再结合系统当前的状态，网络实际拓扑，用户历史操作等多维信息，自动补齐剩余参数。除此之外，意图决策模块还会根据数字孪生的数据，推荐用户可能用到的意图模板，比如数据中心的端口容量不足，需要扩容；交换机当前的版本较老，需要升级版本；系统的license快要超期了，需要更新等。

意图下发后，是如何监控和闭环的呢，意图决策模块提供了意图闭环的ECA管理框架，ECA包括event，condition和action，无论是build-in还是自定义的意图，都可以通过ECA管理框架来实现意图的闭环。基本原理是意图下发以后，意图决策模块会驱动智能分析模块去监控ECA框架定义的Event，当Event发生后，分析验证模块会通知到意图决策模块，意图决策模块再根据condition去执行相应的action，因为action执行也会产生风险，意图决策模块的决策算法会对不同的action进行风险评估，这也会用到仿真验证模块，当风险超过一定阈值的时候，系统会将不同的action和仿真验证的结果呈现给用户，由



用户来选择最终的操作。如果风险较小，系统也会自动完成action并查看意图是否闭环了，系统也会记录本次自动闭环的详细日志，用户可以随时查看。

意图决策模块还有一个功能，就是网络的主动优化能力，随着网络承载的业务越来越多，此时网络的资源利用可能就不是最佳的了，意图决策模块基于数字孪生的数据可以给出一些网络调优的建议供管理员参考，比如意图决策模块发现当前Fabric中leaf之间负载很不均衡，某些leaf流量持续上升，而某些leaf很空闲，这个时候意图决策模块可以建议将繁忙leaf下挂的一些服务器迁移到空闲leaf下以均衡流量，当然这只是从网络角度给出的建议，还需要和计算部门沟通。意图决策模块的价值：

- 基于用户意图的自动化，缩减网络配置参数，简化网络操作，屏蔽异构网络的差异，Gartner预测业务发放效率可以提升50%
- 开放可编程框架支持快速自定义意图，适配不同客户的场景，意图覆盖面更全
- 意图的下发前的仿真，下发后的监控和保障，降低网络出错概率和中断的时间，Gartner预测减少运维工作量50%
- 智能助手，提供数据中心网络常见维护动作的预测和提醒，网络管理员工作更轻松
- 给出网络的调优建议，供网络管理员参考，提升数据中心网络运行健康度

## 3.3 自动化模块

---

### 3.3.1 痛点

多系统资源对接，模型众多，大规模网络下发慢，难恢复

- 不同业务逻辑模型对接。数据中心SDN时代，网络需要以服务的形式提供，对接上层多种业务发放系统，如OpenStack云平台，Kubernetes容器平台，VMWare vCenter，Microsoft System center等计算虚拟化平台。不同平台的业务逻辑模型存在较大差异，需要自动化模块能够将多种业务逻辑模型翻译为网络配置模型并自动下发到对应网络设备。
- 不同组网模型对接。如Fabric有集中式网关和分布式网关之分；VAS的挂接也分为旁挂，直挂，拉远挂等；leaf交换机的可靠性方案有堆叠，MLAG等。需要自动化模块能够识别匹配对应组网模型，下发不同网络配置。
- 不同网络设备对接。数据中心网络存在不同型号的硬件交换机，虚拟交换机，三方VAS设备，需要自动化模块能统一管理，联动编排。
- 数据中心网络规模越来越大，典型的Fabric接入的服务器可达2000台，VM数量可达20000~50000；上层计算并发速度越来越快，如Kubernetes发放容器并发已经达到1W/分钟。这都需要自动化模块能够适配业务的发放速率。
- 数据中心网络变更频繁，一旦变更出错，最快的处理方式是快速回退，自动化模块需要管理所有的配置变更，实现基于快照的回滚。

### 3.3.2 主要功能和价值

自动化模块是自动驾驶系统的手脚，接收各种上层系统和意图决策系统的指令，最终转换成设备的配置，完成业务的网络开通和网络变更。意图转换为网络配置是通过自动化模块的编排能力实现意图模型到网络模型的映射，配置下发是支持二阶段提交的，所谓两阶段指的是自动化模块将网络模型分解为设备具体的配置，但开始阶段实际并未将配置下发而是先交给仿真验证模块去判断新增配置对现网的影响。验证的内容包含两部分：一方面是用户手工输入的验证项，另一方面是自动化模块根据已下发的意图和当前的变更操作自动生成的验证项。验证通过后再执行配置下发，确保没有错误配置引入。当然，仿真验证也是有开销的，用户可以根据实际情况判断当前的操作是否有必要经过仿真和验证，对于低风险的意图下发，可以选择直接下发，而无须二阶段处理。

- 南北向开放对接，自动化平台提供FaaS（Fabric as a Service）服务，包括Fabric内的Underlay配置和Overlay配置，所有的变更统一入口；FaaS提供基于统一模型的开放扩展能力，对上提供北向的统一模型，对下提供多设备的统一模型；提供开放编程能力，对异构厂商的网元也能够进行必要的配置，以实现上层意图分解的操作。
- 高可靠，提供网络快照功能，所有的网络变更存储有对应历史记录，当出现网络变更错误的时候，可以快速回退，减少网络中断的时间；同时自动化模块还提供南北向的一致性对账功能，确保数据的端到端一致性，进一步增强可靠性。
- 高性能，自动化模块支持海量并发，其中北向请求的并发能力达到1W次/分钟，能很好的匹配上层系统业务高速下发的需求。

## 3.4 仿真验证模块

---

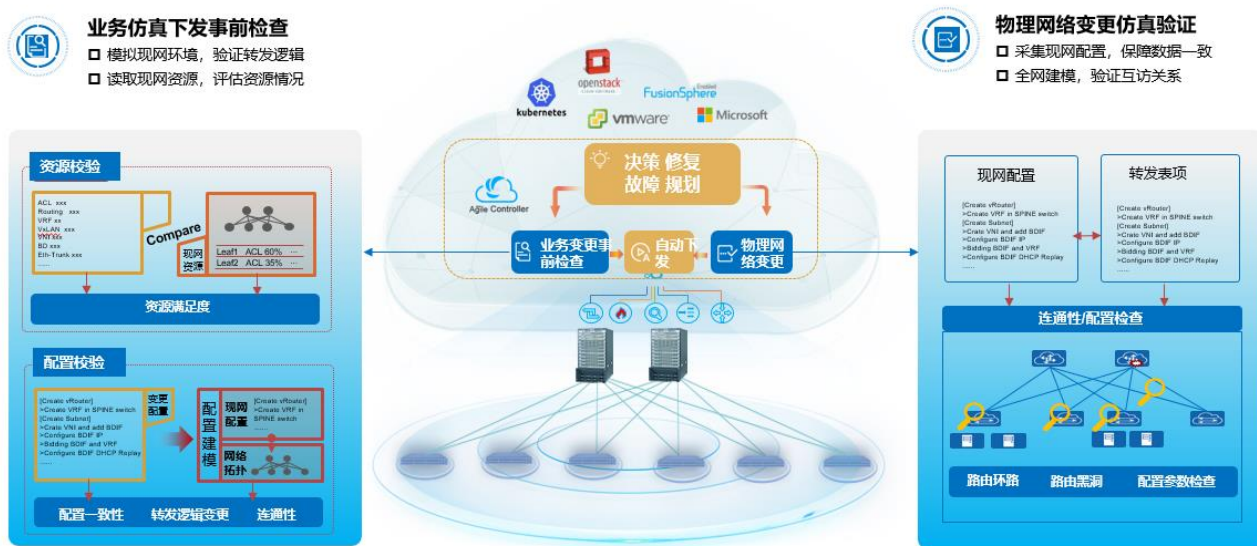
### 3.4.1 痛点

对于云数据中心而言，客户最关注的确保云服务时刻在线，但据调查数据中心领域近一半的故障来自配置变更。对设备的仿真模拟代价高，资源消耗大，难以快速响应业务的诉求。

- **变更引起业务故障：**据Gartner统计，数据中心领域40%的网络事故由于人工的配置错误导致。网络管理部门对网络一次变更的风险评估平均耗时3天，而准确性却只有70%左右。
- **仿真模拟代价高：**数据中心中设备的功能复杂，型号众多。仿真模拟需要能够模拟不同设备上的不同功能，以及复杂的路由协议，传统的一比一仿真模拟代价高昂。同时不同的设备款型还存在着实现差异，更加深了仿真模拟的难度。
- **仿真验证资源消耗大，响应慢：**一般对设备控制面的仿真模拟，需要消耗大量的计算及内存资源，多台设备进行仿真时耗时也呈指数增长，响应慢。

### 3.4.2 主要功能和价值

仿真验证作为华为数据中心自动驾驶系统iMaster NCE-Fabric的关键技术，在规划设计、自动决策、专家推荐、故障修复等领域起着重要的作用，支持对决策以及意图进行事前的仿真分析，验证其可行性以及影响性，也支持对物理网络的变更、规划进行离线的仿真分析，结合业务意图，辅助快速识别存在的各类隐患。



**物理网络变更仿真验证：**支撑对管理的物理网络进行数据建模，并通过可视化呈现整体网络的状态信息。通过对网络的新增物理配置参数进行检查，自动发现网络的连通性、路由环路、路由黑洞等错误，无需人工介入。

**业务仿真下发事前验证：**支持对业务意图进行资源占用分析，自动计算当前业务的资源消耗以及当前网络的总体资源情况。并对业务意图的配置和当前配置进行基本的冲突检查以及配置仿真分析，辅助用户进行影响分析以及决策。能够对数据中心中的复杂的访问控制策略进行模拟仿真。如PBR业务链以及微分段，降低数据中心网络中访问控制策略管理的难度。

**高效快速：**支持进行轻量级的仿真，资源占用少，部署简单快速。iMaster NCE-Fabric验证仿真模块内置数据中心常用的OSPF、BGP路由协议算法，利用BDD（Binary decision diagram，是一种表示布尔函数的数据结构，可以高效的进行布尔函数的交、并、差的运算）图形化建模网络的连通模型，实现快速高效验证，可满足不同规模量级的数据仿真需求。

**开放协同：**上线下协同，提供离线方式仿真验证。可以同iMaster NCE-Fabric其他模块协同工作；仿真验证模块抽取了一套与设备款型无关的模型适配层，同时也支持兼容不同设备款型，未来可支持第三方设备。

## 3.5 智能分析模块

### 3.5.1 挑战

随着DC云化发展，网络资源池化、网络业务自动化等让用户使用变得更简单，但同时也带来了网络运维主动性、实时性和大规模处理能力的挑战，使得传统运维对时好时坏的业务体验质量、困难的故障定位等逐渐力不从心。

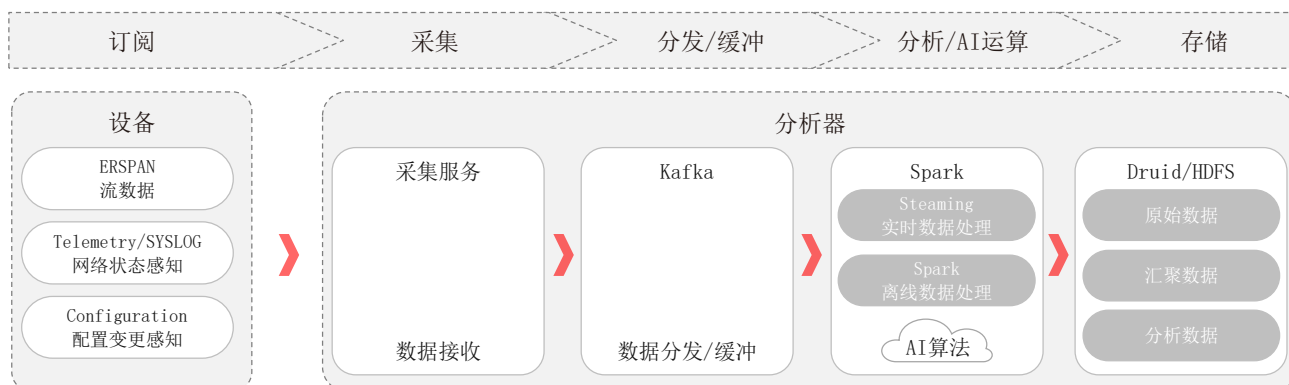
- **主动性：** SDN场景下要求能快速动态地下发业务，如按需创建和删除逻辑网络，网络或业务配置变更相对会比较频繁。而频繁的变更也增加了故障概率，需要运维系统能主动智能地感知这些故障，并借助大数据分析、经验数据库帮助用户快速进行故障定界和故障恢复；
- **实时性：** 实时性：即运维系统能及时地感知网络的微突发异常。例如某企业客户说其轻载的网络，存在瞬态的突发丢包，怀疑存在毫秒级别的微突发流量，但是在分钟级别的SNMP机制下，无法观察到，更无法优化；
- **大规模：** 大规模：大规模管理包含多层含义，一方面管理对象从物理设备延伸到虚拟机，网元管理规模增加了几十倍；另一方面由于实时性分析的要求，设备指标的采集粒度从分钟级提升到毫秒级，数据量增加了近千倍；更重要的是对于故障的主动感知和排障，除了采集分析网络设备指标外，还需要结合实际转发业务流进行分析，数据规模则进一步扩大。

传统运维管理体系，面对上述SDN网络运维三大特征存在巨大的挑战。管理行业研究机构（EMA）针对100多家企业调查结论显示，70%左右的客户对于现有管理运维体系是否适用于SDN场景，表示担忧。

为了满足SDN场景下“主动性、实时性、大规模”的运维挑战，需要对整个运维架构进行改变，才能让SDN网络“管用、好用”。

### 3.5.2 主要功能和价值

智能分析模块使用Telemetry技术实时采集网络数据面、控制面、管理面全场景数据，通过分布式架构实时和离线计算，并运用智能算法对网络数据进行分析、呈现，达到百万报文秒级处理能力。颠覆传统聚焦资源状态的监控方式，实时感知Fabric的状态、应用的行为状态，全面评估网络健康状态，故障分钟级识别、定位和恢复。





**网络健康度分析，故障主动预防：**分析平台从设备、网络、协议、Overlay、业务五个维度建立详细评估和健康分析体系，打造全面的网络监控评估体系，并定期推送评估报告。相对于传统固定阈值，分析平台采用基于机器学习算法，感知网络行为的变化。基于网络的历史数据，使用高斯过程回归算法，自动学习出设备，单板，端口，光模块等多维度的KPI指标的动态基线，并每天自动更新，实现网络异常的智能化检测能力。同时结合指标间动态相关性构建多事件关联分析，在网络亚健康阶段就及时感知行为变化，提前介入和修复，主动预防故障的发生。

**1-3-5故障处理，分钟级故障定位：**华为根据30+年运维经验和数千客户故障案例，梳理75+故障Case，覆盖85%故障场景。一方面，分析平台持续开展数据中心攻防演练进行故障知识的积累和定位效率的提升，另一方面通过AI构建网络知识图谱，目前典型故障可在3分钟内定位问题根因。

**全网全流分析，应用行为异常可视：**通过采集、分析网络上实际转发的TCP报文，呈现应用交互关系和质量，将网络流量白盒化；采用DBSCAN(Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise) 基于密度的聚类算法，对网络中的应用流进行了聚类分析，同时还原报文的逐跳转发路径、链路的转发流量和时延，构建从业务流 -> 转发路径 -> 网络服务的多层次关联分析能力，结构化地为用户呈现应用行为以及网络质量。

## 3.6 数字仓库

---

数据仓库用来采集iMaster NCE-Fabric的历史数据以及其他系统的网络数据(如非iMaster NCE-Fabric纳管的设备配置以及用户的手动下发的设备配置，服务器状态信息，网络状态信息)。采集来的原始数据可作为数据挖掘，AI学习的数据源。例如通过学习历史网络配置对网络运行的影响，给出最优的网络规划方案。通过数据仓库对原始数据进一步加工后，可以得到树形结构的模型化数据。模型化数据帮助实现历史数据比对并呈现结果，增强当前自动驾驶系统的能力。例如快速回滚功能无需保存快照就可以按任意时间/范围进行回滚；还可以检测iMaster NCE-Fabric纳管设备配置与实际配置差异并上报告警。

## 3.7 用户体验

---

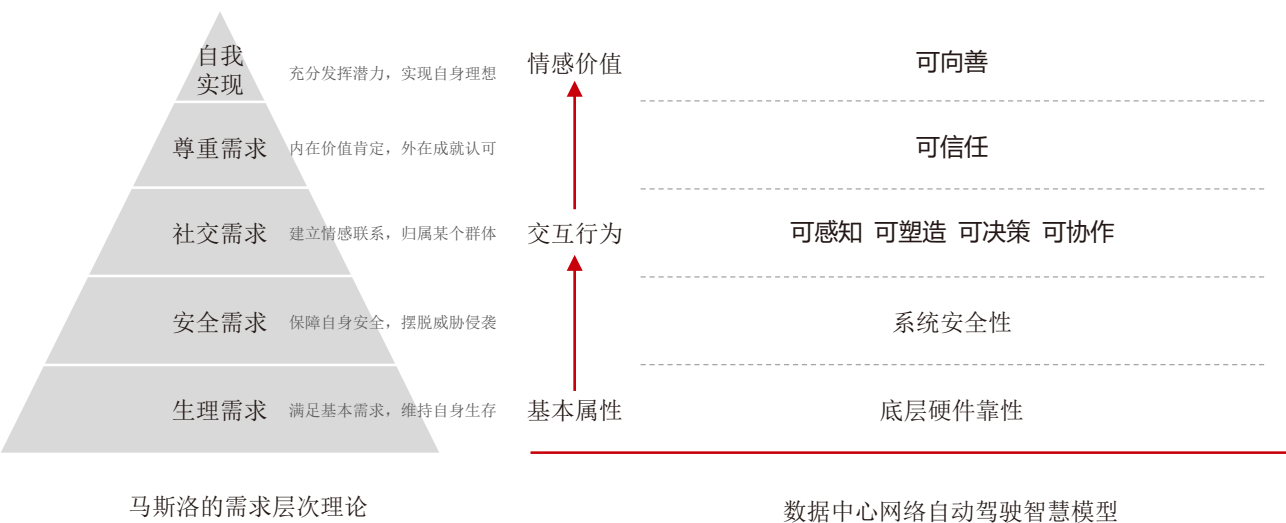
### 3.7.1 传统运维系统用户体验痛点

1. 由于网络规模和复杂度的增加，网络管理员手工在系统上进行网络变更更容易出现差错，当前超过一半的网络异常是由网络变更导致的。
2. 扩容需要用户在系统上人工操作和复核，无法保证配置资源的正确性，可能会导致配置错误和冲突。
3. 金融场景下，对线上故障恢复时间要求非常严苛，核心业务要求分钟级发现并定位到故障根因，靠人工经验发现故障并排查定位故障原因很难达到行业时效性要求。

### 3.7.2 数据中心网络自动驾驶系统

数据中心网络自动驾驶系统以意图为驱动，融入意图决策（快速智能推荐修复方案、基于意图的全生命周期闭环）、仿真（基于数字孪生的仿真体验）、智能分析（统一监控、快速发现和定位），逐渐减少人力在运维操作中所占的比例。未来，数据中心网络自动驾驶系统将作为一个独立“个体”与网络管理员（以下简称用户）进行有效互动，帮助用户高效、精准、智能地完成工作，提升网络质量和运维效率，提升用户运维体验。

数据中心网络自动驾驶系统遵从用户体验核心要素：可感知、可塑造、可决策、可协作、可信任、可向善，即“六可”原则。



**可感知：**通过信息文字、2D/3D图像、自然语言对话、触觉振动等通道让用户感知系统所知所为。

**可塑造和可决策：**系统可以自主学习，并帮助用户推理并决策执行。

**可协作：**通过智能识别和预测，与用户自然交互协作完成数据中心网络管理工作。

**可信任：**信任是用户使用系统的关键因素，通过外观可信、行为可信、情感可信，打造值得信赖的数据中心网络自动驾驶系统。

**可向善：**确保系统行为尊重人权和伦理准则，行为决策符合人类价值观，减少用户的隐私忧虑，构建安全的AI系统。

### 3.7.3 用户体验提升点和价值点

1. 数据中心网络自动驾驶系统通过自然语言等方式感知并识别用户意图（例如业务发放），系统对部署方案仿真验证，确保方案可行性，并给用户提供有客观依据的方案推荐，协助用户进行决策，完成业务发放工作。更进一步，如果系统的推荐方案逐步获得用户的信任后，可允许系统自主决策下发方案。因此，用户的投入将逐渐减少，业务发放的正确性也获得了保障。
2. 数据中心网络自动驾驶系统感知到扩容需求，并基于现网资源利用情况，规划经过仿真验证的扩容方案，协助用户确定最合适的方案，保障扩容操作成功。扩容后系统自动验证，并输出结果让用户可感知扩容的进展和结果。如此，避免了扩容时大量的人工操作和复核，既能快速确定有效的扩容方案，又能保证配置资源的正确性，提前避免配置错误和冲突。
3. 数据中心网络自动驾驶系统，可主动感知各类业务和整个网络的状态，快速识别发现和定位事件，并智能推荐经过仿真验证后的修复预案；甚至有些事件可以设置为由系统自主完成，用户只需感知进展和结果，即可从繁重的网络运维工作中解放出来。



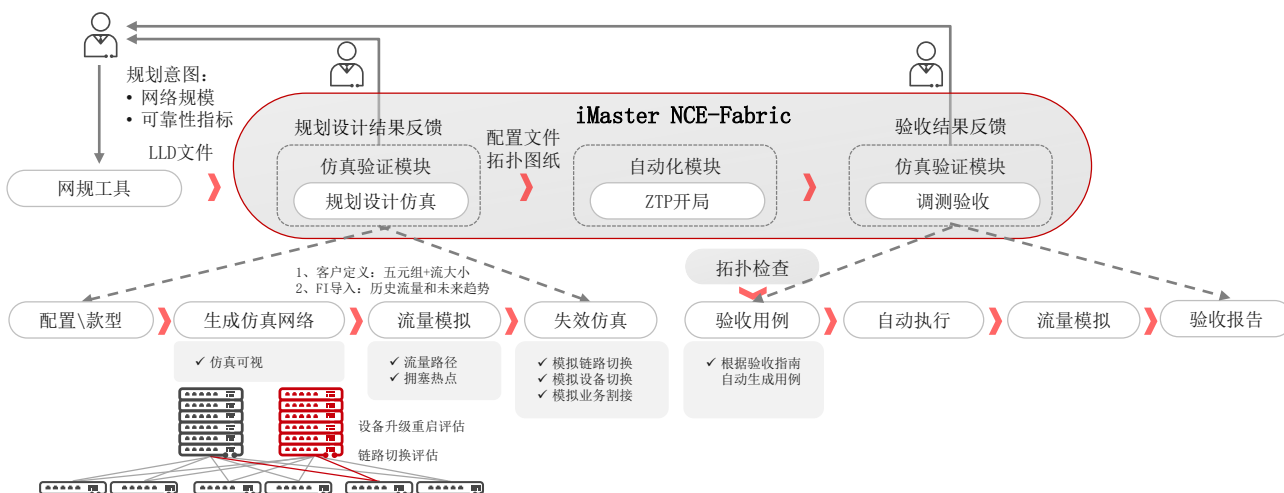
# 04

## 华为数据中心自动驾驶网络典型应用场景

### 4.1 规建环节：规划设计仿真并自动验收

#### 4.1.1 场景介绍

规划阶段，网络部门需要根据待建设数据中心当期计划承载业务量、安全性、网络性能、技术演进和远期扩容等业务诉求，来设计数据中心网络的组网架构、设备选型及系统协同；建设阶段，根据网络详细设计，完成硬件安装和测试、软件安装和联调等，输出验收报告。



#### 4.1.2 痛点

##### 1、规划阶段：

- ① 需要专业人员规划组网方案，包括border和外部网络的连接，leaf，spine的收敛比和连线等等。工作量大，效率低，容易出错，验证困难；
- ② 规划阶段没有实际设备和组网，仅能够从理论上分析网络所能承载的服务器数量、服务器接入的可靠性，网络访问路径等，无法直观评估建设完成后的网络性能，无法确保规划对计划承载业务的满足度。



## 2、建设阶段：

- ① 需要对spine/leaf设备逐台导入配置文件，耗时长；
- ② 验收需要手工执行大量的测试用例，验证网络是否满足规划，耗费较多的人力和时间。

### 4.1.3 方案

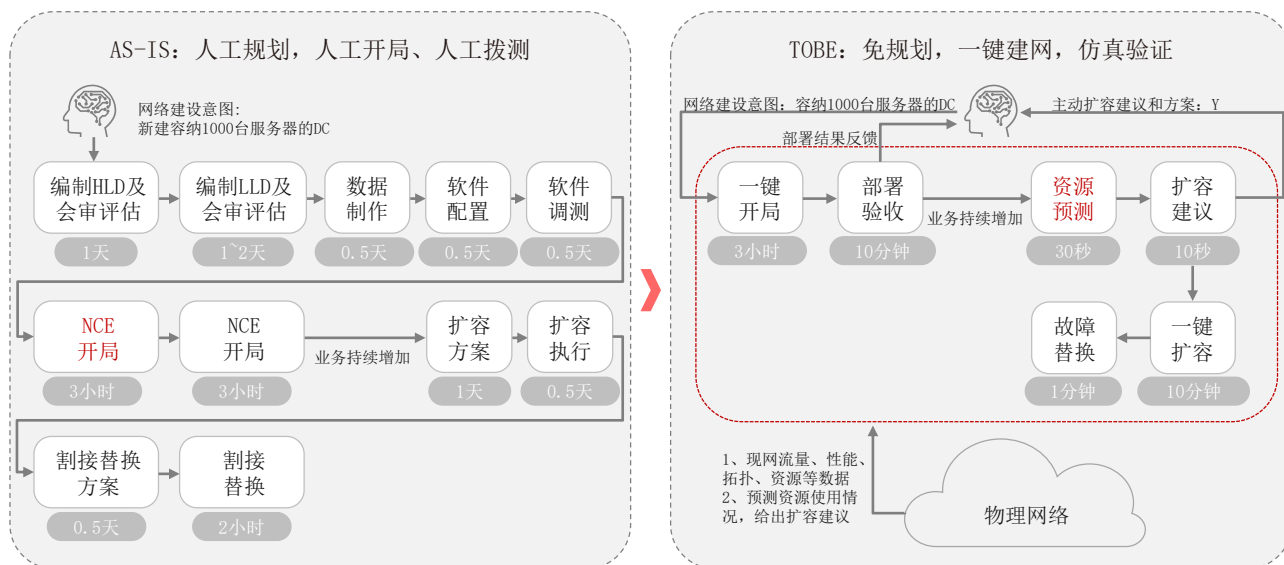
1、iMaster NCE-Fabric支持网络规划（网络规模，可靠性指标），也支持根据客户已有的网规工具的输入（网络设计LLD），利用数字孪生技术，iMaster NCE-Fabric的仿真验证模块可自动生成一张仿真网络。在仿真网络上可以实现①流量路径仿真；②网络失效仿真，比如链路级的可靠性切换，设备级的可靠性切换等。仿真的可视化结果使得网络管理员能够对网络规划的结果进行充分的确认，并根据发现的问题进行网络规划的调整，直到仿真的结果符合预期。解决规划阶段评估不直观，验证难的问题。

2、当网络管理员确认网规的结果以后，设备只需要按照规划的拓扑上电启动，自动化模块的ZTP开局部件即可自动完成设备零配置上线。组网中的所有设备完成上线后，仿真验证模块自动生成验收用例，并执行验收用例进行流量拨测，最后自动输出验收报告。从而提升建设阶段设备上线效率并减少验收工作量。

3、网络建设完成后，iMaster NCE-Fabric的智能分析模块还支持进行网络容量的预测，给出何时网络需要扩容的建议。另外，当分析模块发现设备故障的时候，支持进行故障替换操作，故障设备的配置自动迁移到新的设备上。

### 4.1.4 价值

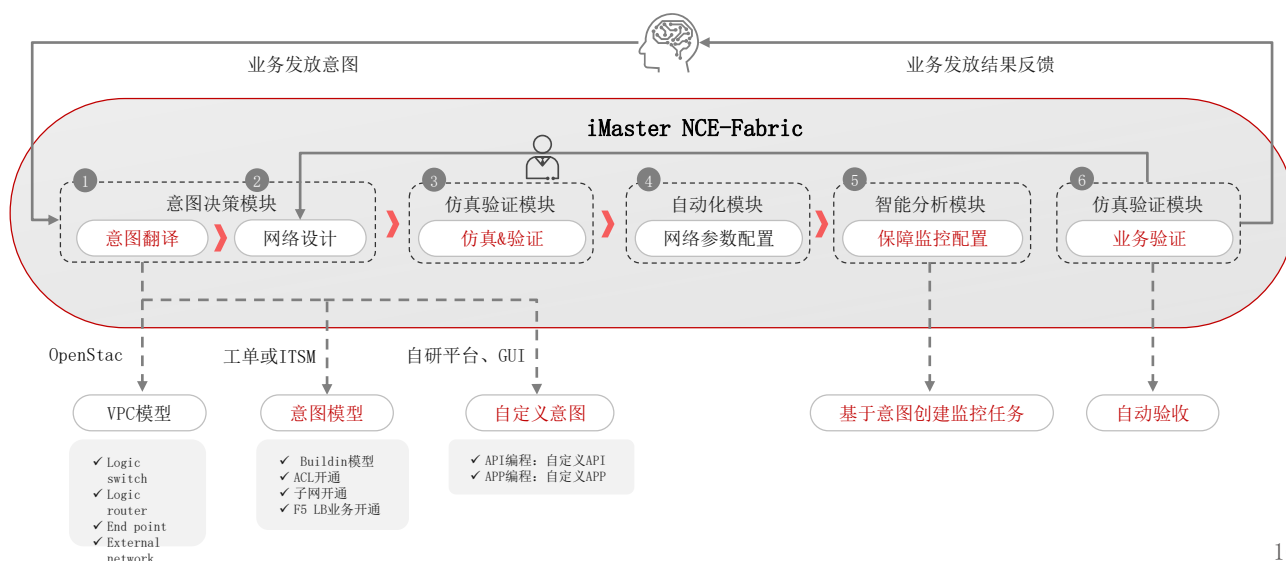
如下图所示，iMaster NCE-Fabric消除了大量的人工操作，缩短规划和建设时间80%，降低规划出错概率到5%以内，减少返工，规划建设阶段的整体效率倍增，并支持主动预测设备扩容和故障替换。



## 4.2 维护环节：自动翻译业务意图，自动验收，异常回退

### 4.2.1 场景介绍

根据IT /业务部门提出的的网络需求，下发网络配置，完成用户业务所需的网络开通。



16

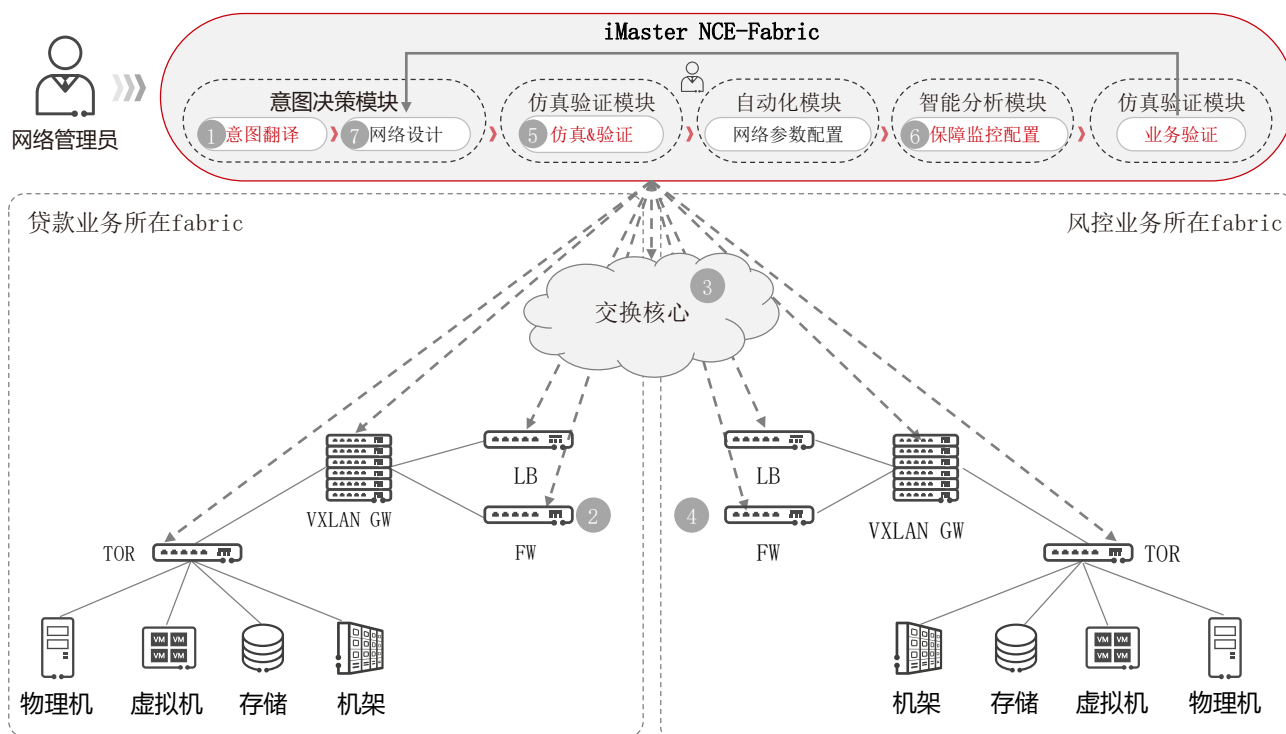
### 4.2.2 痛点

- 业务的网络开通诉求五花八门，系统build in功能难以全覆盖；网络开通经常需要跨越不同厂商的Fabric和设备，靠单一系统难以端到端自动化，需要大量的人工操作；
- 网络变更风险高，误操作可能会导致业务中断等重大后果，人工操作的准确率只有70%；
- 网络开通后的运维监控能力弱，网络部门难以知道网络的实际运行情况。

### 4.2.3 方案

- 1、根据业务发放意图（业务发放意图可以是build in的，也可以是用户自己通过意图决策模块的开放可编程能力自定义的），iMaster NCE-Fabric的意图决策模块统一进行意图的翻译并进行网络设计，最终转换为对多个Fabric多种设备类型（交换机，FW，LB）的多台设备的配置。
- 2、使用自动驾驶系统的仿真验证模块对上一步生成的网络配置进行仿真。用户可以根据仿真的结果进行确认或者调整业务发放意图直至仿真通过。使用iMaster NCE-Fabric的仿真验证模块对上一步生成的网络配置进行仿真，由于配置一般是分解到多台设备，这就需要自动化模块保证业务意图事务级的一致性（全量下发成功，否则全量回滚）。配置下发以后，意图决策模块会分解业务的监控配置到智能分析模块，同时驱动仿真验证模块进行业务的验证。

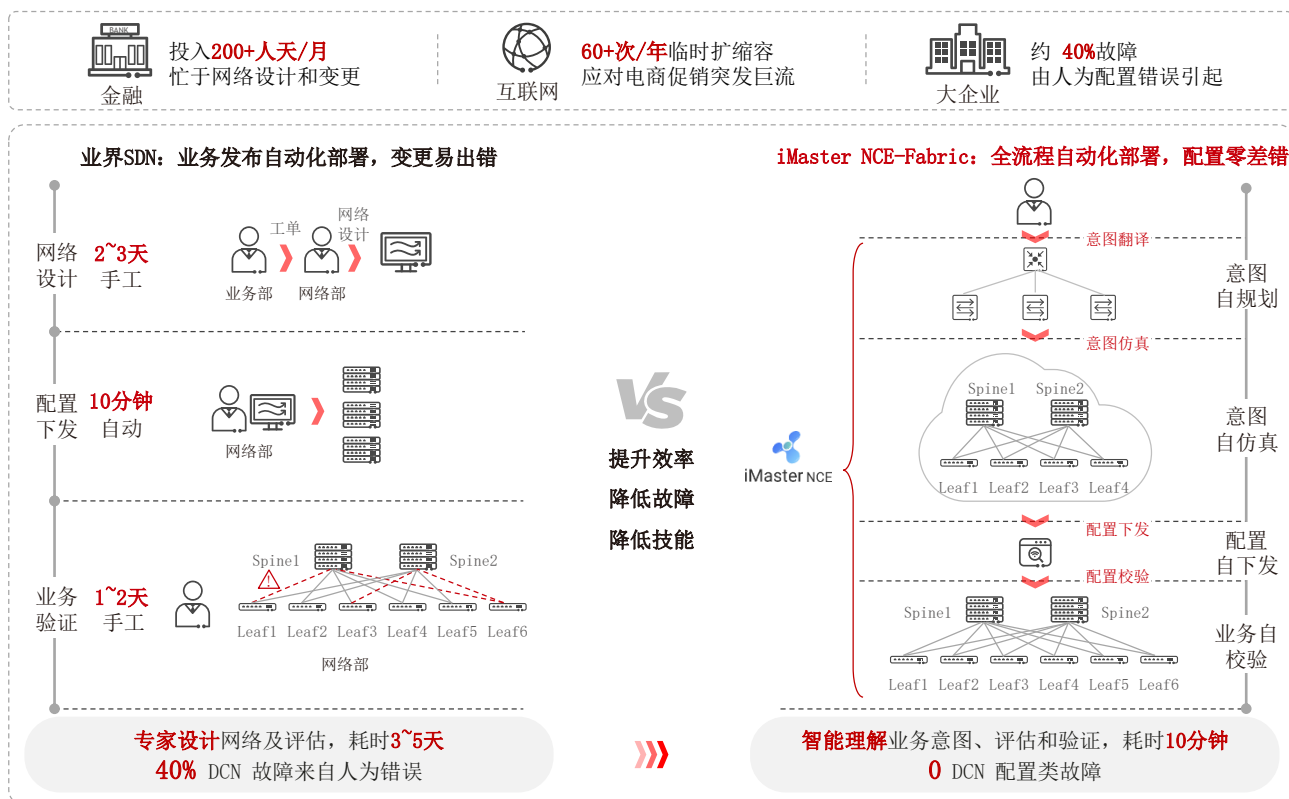
#### 4.2.4 示例



下面以一个金融数据中心网络的例子，来阐述一下业务发放的过程。业务意图：贷款业务系统需要访问风险控制系统。使用 iMaster NCE-Fabric，网络部门只需输入业务的互访需求到意图决策组件，意图决策组件自动完成以下动作（组网示意图见上图）：

- 1) 查询贷款业务和风险控制系统对应的IP地址、端口和所在的Fabric；
- 2) 在贷款业务系统所在Fabric的FW上预放通策略五元组，源IP为贷款业务，目的IP和端口为风险控制系统的IP和端口，协议为TCP；
- 3) 查询贷款业务系统到风险控制系统所经过的Fabric和交换核心，确保路由是打通的，如果缺少路由则预下路由；
- 4) 在风险控制系统所在的Fabric的FW上预放通策略五元组，目的IP和端口为风险控制系统的IP和端口，协议为TCP；
- 5) 步骤1)~4)进行了待下发配置的入库，但并未实际下发，此时进行整网业务的事前仿真，查看仿真的结果是否正确；
- 6) 用户确认仿真结果可达预期后，进行业务的下发；网络配置下发完成后，先下发业务监控的配置，然后模拟流量进行拨测，反馈结果；
- 7) 当监控到业务出现异常时，触发故障闭环系统。

## 4.2.5 价值



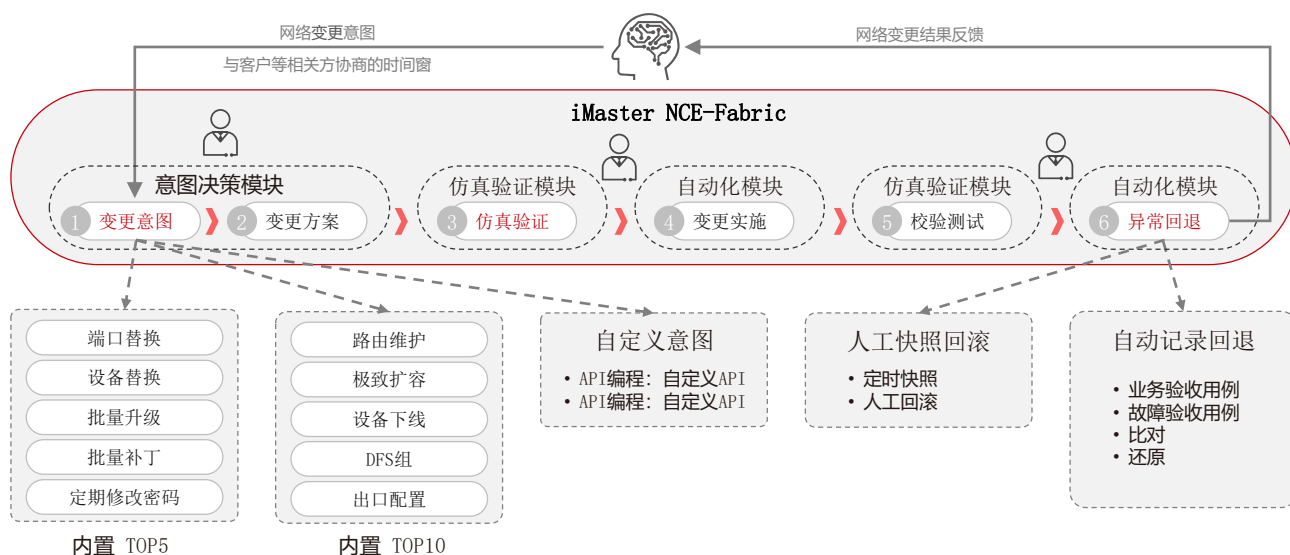
实现意图驱动的网络配置，隐藏网络的实现细节，屏蔽多厂商的差异，业务开通更敏捷，网络操作更简单。如上图所示，传统典型业务开通耗时3~5天且易出错，使用iMaster NCE-Fabric以后，耗时10分钟且无配置类故障。



## 4.3 维护环节：网络变更意图buildin，异常快速回退

### 4.3.1 场景介绍

网络人员结合现网业务和网络状态，制定网络变更方案（硬件替换、软件升级、路由切换等）并实施。



### 4.3.2 痛点

- 网络变更时间窗短，变更效率要求高，当前大部分变更为手工操作，耗时长（小时级）；
- 网络变更风险高，操作失误易导致现网业务中断，手工进行回退操作无法保证100%准确，变更导致的网络中断，恢复的时间一般为小时级；
- 网络变更操作涉及的设备操作多，系统build in能力难以全覆盖；

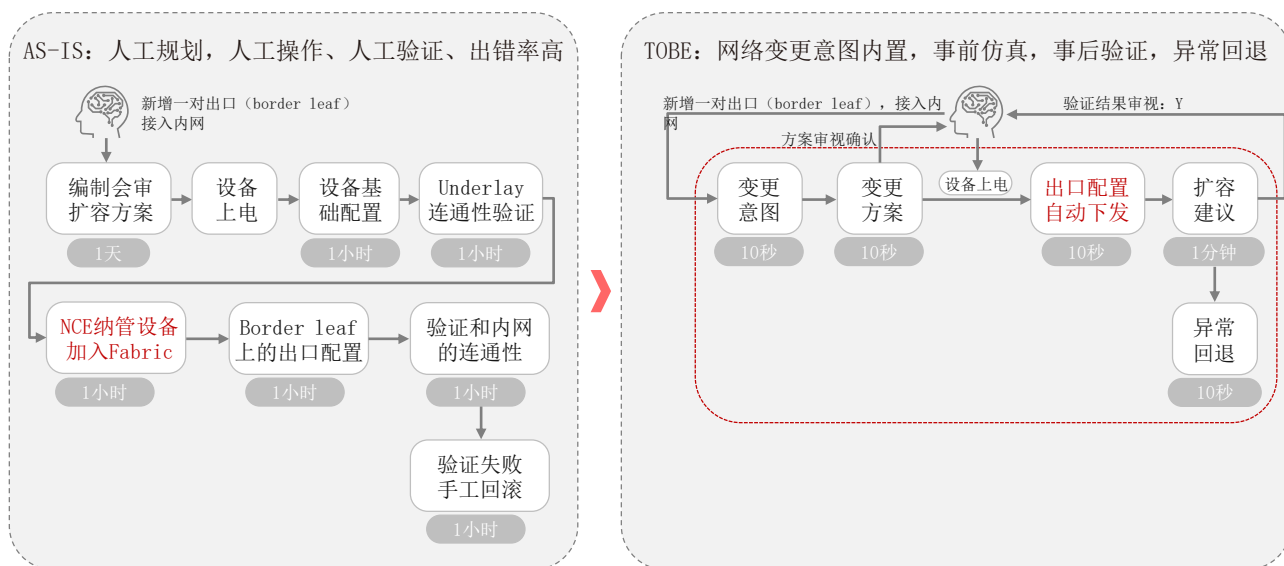
不同于业务发放阶段的网络操作，网络变更是网络人员主动发起的维护操作，一般是硬件替换，软件升级，路由切换，网络扩容等设备级批量操作。iMaster NCE-Fabric提供意图驱动的网络变更操作体验，内置数据中心的常用TOP10变更操作，其他的操作可以通过开放编程快速适配。

### 4.3.3 方案

- 1、意图决策模块根据变更意图分解为变更方案，变更方案具体到哪些设备进行哪些操作，意图决策模块将这些操作输入到仿真验证模块进行仿真；
- 2、仿真验证模块呈现结果，用户确认后，自动化模块进行变更的实施。如仿真验证结果不符合预期，可进行手工调整，确保网络变更符合预期。
- 3、变更完成后，仿真验证模块的事后验收部件进行业务的拨测验收并呈现结果。如果测试结果不符合预期，自动化模块提供异常回退功能，可以是回滚到之前用户的快照，或者是用户选择系统自动记录的快照，以确保异常情况下系统能够快速回到变更前的状态。

### 4.3.4 价值

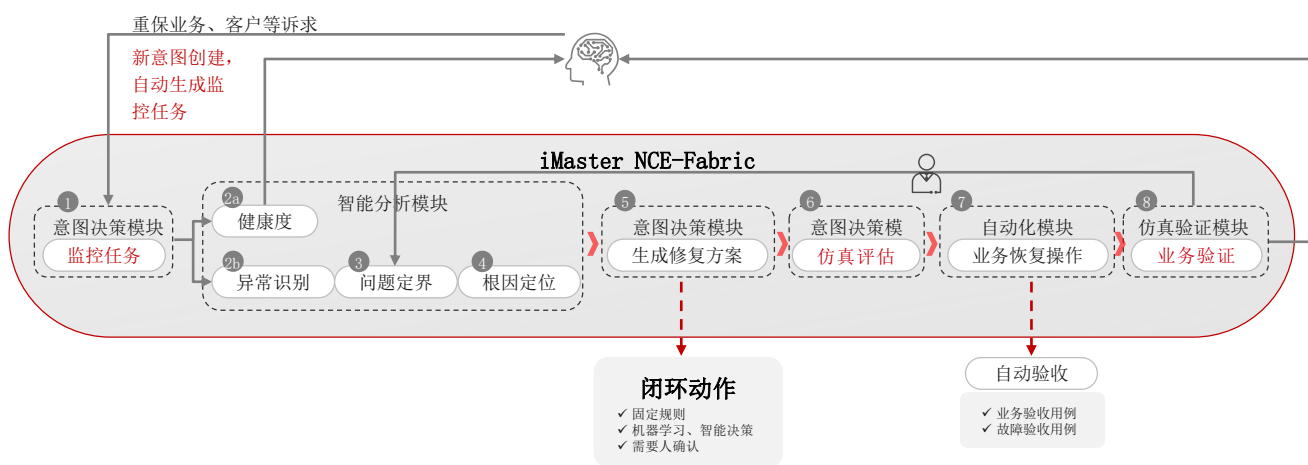
实现变更操作的可靠性仿真和操作的自动化，提升变更操作的效率，数据中心的常见网络变更时间由小时级优化到分钟级，同时支持发现异常后的配置快速回退，最小化变更失败导致的业务中断时长。以数据中心场景的出口扩容场景来看，效果如下图



## 4.4 维护环节：基于意图的网络监控，实现故障闭环

### 4.4.1 场景介绍

用户完成网络配置下发或网络变更后，对网络运行状态进行例行监控，发现网络故障或性能下降时，进行问题定位、故障修复及修复后验证。



### 4.4.2 痛点

- 数据中心网络复杂，设备多，发生网络故障时，传统运维方式下依赖人工对设备的大量告警进行分析，问题的定界和定位通常需要数小时。
- 修复预案靠人工判断后根据经验给出并经过专家评审，准确率只有70%左右，无法保证修复操作100%准确。
- 故障修复需要人工操作，效率低，耗时长；平均处理一次故障需要5个小时。
- 修复执行后需要人工验证故障是否闭环，验证点多，效率低；验证业务耗时可达小时级甚至天级

iMaster NCE-Fabric，可以根据用户主动下发的监控规则和意图，在业务创建时自动生成监控任务，实时检测网络异常情况、进行根因定位，输出问题根因、自动修复和验证。目标是实现故障的1分钟发现，3分钟根因定位，5分钟自动闭环，简称1-3-5故障闭环。

### 4.4.3 方案

1、意图决策模块在网络配置下发或网络变更时根据业务意图自动创建监控任务（用户可以查看或自行创建监控任务）。



健康度五层评估模型

2、意图决策模块将监控任务下发到智能分析模块，通过实时和离线计算，对采集上来的TCP流、Telemetry性能Metrics进行大数据分析，并结合基线异常检测、多维度聚类分析等AI算法，基于设备、网络、协议、Overlay及业务五层模型对象主动感知Fabric内的健康度并发现可能存在的故障，智能分析识别是否存在网络或者应用的群体性故障。



网络知识图谱

- 3、华为根据30+年运维经验和数千客户故障案例，梳理75+故障Case，覆盖85%故障场景。一方面，分析平台持续开展数据中心攻防演练进行故障知识的积累和定位效率的提升，另一方面通过AI学习推理构建出网络知识图谱。进一步的，当分析模块发现故障后，根据故障传播的知识图谱进行根因分析，在问题根因确定后，将其上报给意图决策模块。
- 4、意图决策模块需要根据故障根因生成修复预案。这个过程有两种方法：①对于闭环动作明确的故障采用固定规则，即根因到预案的映射是系统内置的固定规则；②对于闭环动作不明确的故障采用机器学习智能决策技术，根据用户历史选择的修复预案和效果进行智能推荐。
- 5、预案生成以后，经过仿真验证模块进行仿真评估，并将仿真结果呈现给网络维护人员，并由维护人员选择修复预案交给自动化模块执行。
- 6、修复预案执行后，由仿真验证模块确认闭环效果。

#### 4.4.4 价值

- 自动发现故障并定位根因，无需人工操作，发现故障时间由“分钟级”缩短到“秒级”，定位时间由“小时级”缩短到“分钟级”；
- 基于智能推荐决策，系统推荐最优预案，规避故障方案制定不准确，闭环时间由“天”下降到分钟级；
- 故障预案人工确认后，系统自动执行并执行验收用例，验证时长由“小时级”缩短到“分钟级”。





# 05

## 数据中心自动驾驶网络的发展展望

当前，华为数据中心自动驾驶网络方案正处于高速发展阶段，整体上处于L2向L3的过渡阶段，即将迈入L3并朝着2030年实现L5级全场景自治网络的目标迈进。



数据中心自动驾驶网络的发展需要整个产业界的密切配合，尤其在以下三个方面

### 推动接口标准化

只有解决了兼容性的问题，才能使不同厂商的异构组件共同为客户部署自动驾驶网络方案，消除用户对于厂商绑定的顾虑。推动接口标准化是解决此问题的关键，业界各方应当积极参与标准化组织，推动定义更加丰富的南北向接口。

## 建设开放型网络平台

数据中心自动驾驶网络系统根本价值在于统筹网络资源来确保满足业务需求。要实现这一点，自动驾驶系统必须对接客户的IT应用系统。这就需要自动驾驶系统提供开放型的平台，客户也需要根据自己的业务快速自定义新功能，充分发挥自动驾驶网络的全部价值。

## 打造开放的产业生态

在积极推动接口标准化、建设开放型平台的同时，还需要加强开源平台的建设。开源平台对于运营商、设备商、网络服务提供商企业都有巨大吸引力，一些开源平台也由上述角色牵头或参与，开源平台和标准组织也不断协调，促进各自的发展，为产业的生态带来重要影响。良好的数据中心网络产业生态还需要标准组织、开源平台、运营商、设备商、网络服务提供商之间彼此积极协作，将促进整个产业的健康快速发展。



华为技术有限公司  
深圳龙岗区坂田华为基地  
电话: +86 755 28780808  
邮编: 518129  
www.huawei.com

## 商标声明



是华为技术有限公司商标或者注册商标, 在本手册中以及本手册描述的产品中, 出现的其它商标, 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 2020。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。