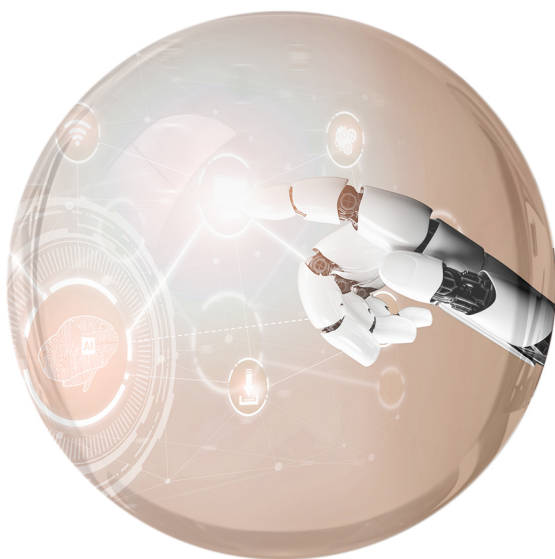




迈向智能世界白皮书2025

智能体@自动驾驶网络

加速推进高阶自智网络规模部署



构建万物互联的智能世界

前言：通信行业智能体的发展态势

通信网络目前正经历从 4G/5G/5G-A 向 6G 的代际演进，万物互联的崭新时代已然开启。在赋能工业互联网、智能电网、智能交通等垂直行业，提供强大的超高速、可靠、实时通信保障，帮助众多企业提升生产效率与产品质量的同时，通信网络自身运营和运维，也面临运维效率、用户体验等关键挑战，通过 AI 和智能体技术注入，实现网络自身的智能化、自动化技术转型，走向网络高阶自治，已成为产业共识。

业务和架构层面，2025 年 6 月，TM Forum 联合 75 家全球领先的产业伙伴，共同发布了具有里程碑意义的自智网络白皮书 7.0，定义了以自智网络智能体（AN Agent）为核心的自智网络 Agentic 功能架构和智能体架构，推动智能体、数字孪生技术与通信网络深度融合。TM Forum 同时围绕自智网络 L4 等级发布了 20 个高价值场景的目标态与智能体能力，以 KBI/KEI 指标量化商业价值，并借助 IG150x 系列解决方案包，为行业提供部署指南，助力运营商量化成效、提升部署效率。3GPP、ETSI、IETF、CCSA 等专业领域标准组织则聚焦落地使能，面向无线、云核心网、光网络和数通网络，建立和完善单领域智能体场景、功能、接口和模型标准，与 TM Forum 标准一起，形成通用 + 专业的立体化自智网络智能体标准体系。

技术层面，为达成自智网络 Agentic 架构目标，面向通信网络的生成式 AI、数字孪生等前沿技术与智能体架构深度融合，释放出巨大能量。一方面，智能体大模型、智能协同、智能交互、智能记忆、智能学习等生成式 AI 技术正渐进成熟和应用，赋予自智网络

智能体强大的自主决策、自主闭环和自主学习能力，和海量网络数据的快速处理；另一方面，数字孪生技术则构建出高度逼真的网络数字镜像，实现对网络状态的实时精准感知、分析、仿真与预测，辅助自智网络智能体制定更优闭环策略。

产业实践层面，通信产业众多领先通信运营商，积极投身探索，围绕网络节能、故障分析和处理等高价值场景开展 L4 目标网早期创新应用，并取得明显的成果。例如，中国移动和华为合作，为无线网络引入故障智能体和 NOC/FME Copilot 智能助手，并融入故障处理流程，为无线现场维护工程师提供对话式交互、智能知识问答和自助排障能力，显著提升现场作业效益，并减少 80% 的后端运维排障支撑，实现一故障一工单精准上站和 MTTR 下降 27%。

展望未来 3~5 年，自智网络智能体将从当前的高价值场景自治，向多场景整网自治全面拓展，通过跨场景、跨域的能力融合，帮助运营商实现全网络全流程的自主闭环管理，全方位提升网络运营效率与服务质量，逐步释放网络全局价值。与此同时，不同厂商、不同生态间的智能体，也会实现基于目标和任务，实现无缝协作，共同应对网络复杂问题，通信行业将迈向更加智能、高效、安全的高阶自智网络新时代。

本白皮书重点阐述面向自智网络的智能体定义、分层分域智能体架构、智能体中构建大模型的关键要素、智能体接口协议的范式、智能体标准，以及华为 ADN 智能体实践，为自智网络产业未来发展提供技术参考和发展方向建议。



目录

	前言：通信行业智能体的发展态势	02
01	自智网络智能体的定义	05
02	以智能体为核心的高阶自智网络架构	06
	2.1 面向智能体的自智网络架构	06
	2.2 分层分域建设，网络层智能体是刚需	07
	2.3 上下层智能体协同，高效使能端到端闭环	08
	2.4 自智网络智能体的功能参考架构	09
03	自智网络智能体的关键技术和发展方向	11
	3.1 通信大模型：从语言大模型到智能体大模型	11
	3.2 数字孪生：从融合感知到体验仿真预测	12
	3.3 智能协同：从单智能体到多智能体协同	13
	3.4 智能交互：从机器辅助人到辅助机器	14
	3.5 智能记忆：从碎片化到自组织	15
	3.6 智能学习：从预定义到动态增强	16
04	自智网络智能体中构建大模型的三大要素	17
	4.1 专属性：具备高专业性、强鲁棒性和可执行能力	17
	4.2 预集成：自智网络智能体中交付大模型的最优路径	17
	4.3 共进化：自智网络智能体与大模型相互促进发展	18
05	自智网络智能体接口协议的多种范式和演进方向	19
	5.1 智能体集成交互的四种范式	19
	5.2 面向未来演进的 A2A-T 智能体交互协议	20
	5.3 A2A-T 重塑系统集成模式与交互模式	22
06	自智网络智能体的标准进展和执行建议	23
	6.1 推进 E2E Solution package 参考实践	24
	6.2 引入“POC 快速验证”的新标准开发模式	24
	6.3 建设自智网络智能体互联互通的产业生态	25
07	从传统网络演进到自智网络 Agentic 架构	26

08	华为 ADN 智能体实践	28
	8.1 华为 ADN 智能体能力	28
	8.2 华为 ADN 商用案例	30
09	自智网络智能体未来展望	33
	9.1 自智网络从场景自治走向整网自治	33
	9.2 迈向世界模型的通信大模型	33
	结语	34

01 自智网络智能体的定义



当前，业界对智能体有多种定义维度，包含功能效用、决策逻辑、自主性、行动类型、应用场景等种类。而在自智网络上形成的共识为，**自智网络智能体（AN Agent）**是一种能够独立运作的系统或实体，它根据自身的感知和目标做出决策并采取行动，无需人类的直接干预；它通过执行自己的计划或目标来发挥作用，并且必须具备适应性，能够不断从自身经验以及与环境的学习和改进。根据功能特征，自智网络智能体可分为面向角色的数字助手（Copilot）和面向场景的自闭环智能体（Agent）两大类别：

- 1. 数字助手（Copilot）：**针对具体运维角色，完成一个特定任务，使用生成式 AI 技术，在手机 / PC / 平板等终端上使用语言交互界面（LUI）进行人机交互的数字助理。其提供智能知识问答和辅助运维，大幅提升作业效率及降低人员技术要求。
- 2. 自闭环智能体（Agent）：**面向特定的通信网络场景，能够主动感知网络状态及其环境并根据感知到的信息进行分析，做出适应性决策并进行响应控制，以实现用户目标的自闭环系统。自闭环智能体必须是自适应的，能从它的经验与周边的交互中不断学习和改进。

数字助手基于语言理解和生成推理能力，负责接收人类意图并协调网络资源，使能运维交互模式从菜单式转向对话式，简化和增强了交互能力，是人类的“增强型伙伴”；而自闭环智能体则作为执行者进行任务发起和任务结束，从监控分析到诊断、修复、优化、配置、仿真等完成自闭环，是“自主性工具”。两者在自智网络中相辅相成，使能网络运维运营从以人为中心走向以自智网络智能体为中心，构建起智能时代人机共生 & 协同的新形态。

在 2025 年 6 月发布的自智网络白皮书 7.0 中，TM Forum 进一步提出：自智网络智能体是高阶自智网络（AN L4）的核心，它必须超越简单的自动化，能执行自主任务、做出决策，并与人及其他智能体进行交互。但成功实现自智网络 L4，还需要有清晰、结构化的方法，用来设计、构建和集成这些智能体，使其在整个网络中协同工作。为此，TM Forum 协同产业伙伴制定了解决方案包（Solution Package），它围绕通信网络的“维护、优化、运营”高价值场景，定义了自智网络智能体的功能分层与协同机制、自智网络智能体所需的关键技术、自智网络智能体与网络设备及运维系统的交互规范、以及跨厂商合作的标准与生态等，为自智网络智能体提供了“从需求定义到落地实施的全链路指导”。

02 以智能体为核心的高阶自智网络架构

2.1 面向智能体的自智网络架构

自智网络智能体在自智网络中的快速发展和应用，推动自智网络向 Agentic 架构演进。基于三层四闭环、单域自治、跨域协同以及全栈 AI/GenAI 的总体原则，自智网络各层都将出现面向场景的自闭环智能体以及

面向角色的数字助手两类智能体，全面增强各层的自治能力。2024 年，TM Forum 在自智网络产业蓝图白皮书中发布了基于自智网络智能体的 L4 总体参考架构，如下图所示：

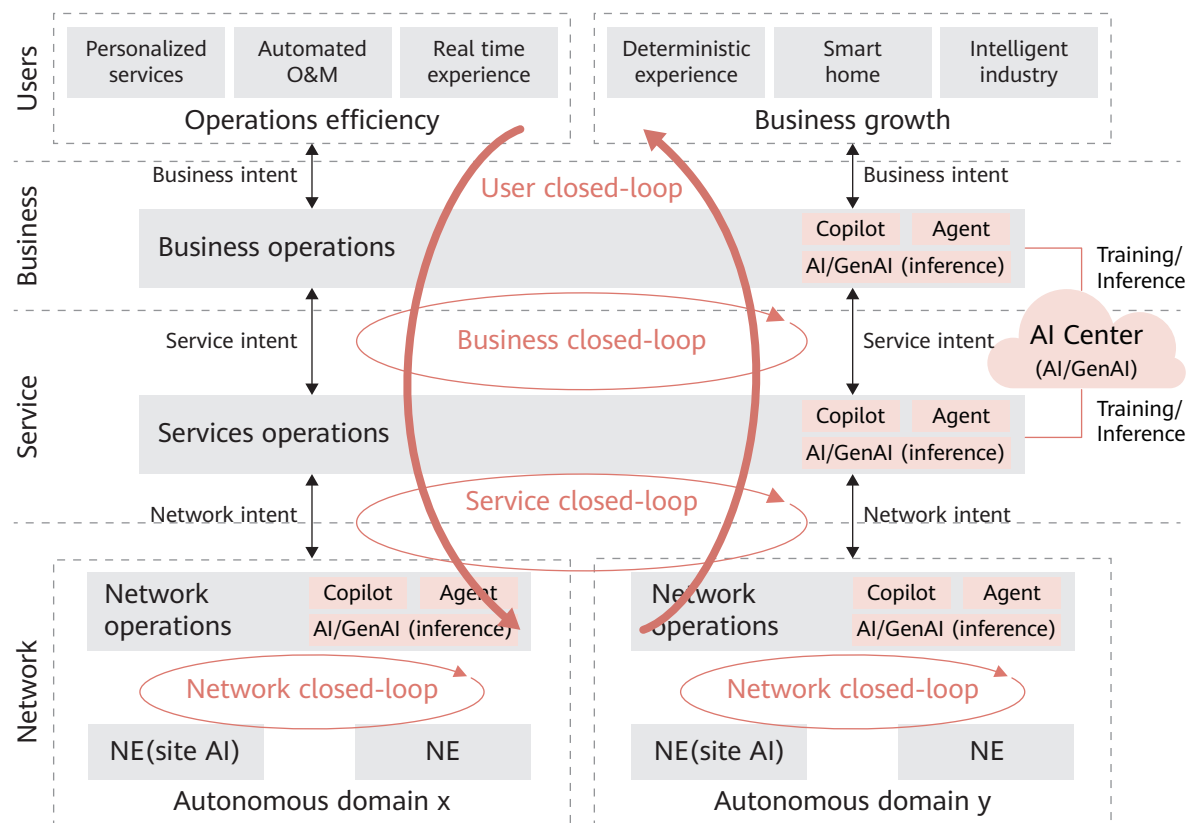


图 2-1 基于自智网络智能体的 L4 总体架构

在 L4 总体参考架构基础上，2025 年，TM Forum 自智网络功能应用架构进一步明确了自智网络智能体的划分，以及在各层的分布，明确了自智网络

各层中具体存在哪些智能体，如何规划智能体，以及各层存在哪些关联和支撑模块，以更好支撑和指导 L4 落地。

TM Forum 自智网络白皮书 7.0 和 IG1251C 中定义的自智网络 Agentic 功能架构如下图所示：

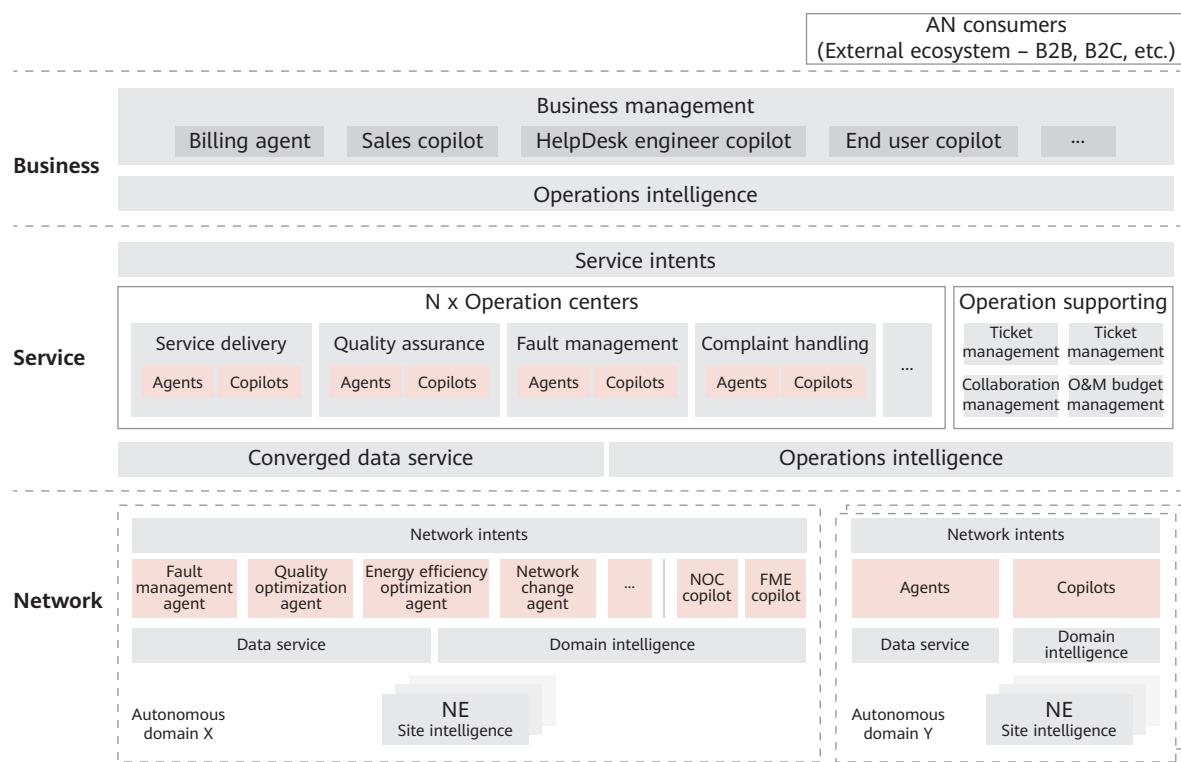


图 2-2 自智网络 Agentic 功能架构

自智网络智能体基于 TM Forum L4 产业蓝图中的高价值场景分层规划和定义，在 AI/ 数据 / 意图 / 工单等公共能力模块支撑下，相互协同配合，完成面向场景的端到端闭环：

1. 网络层智能体面向本领域内故障、优化、节能等网络运维场景，完成从识别到分析决策再到执行的任务处理，使能单域自治；
2. 业务层智能体面向业务交付、体验保障、故障管理、投诉处置等业务运营场景，与网络层智能体以及

其它系统配合，完成跨域跨厂商的端到端业务流程闭环；

3. 商业层智能体面向计费、销售、客服等商业运营场景，与业务层智能体和网络层智能体协同，完成面向终端用户的流程闭环。

面向网络运营中心(NOC)、业务运营中心(SOC)、现场维护工程师(FME)、客服工程师等不同角色，数字助手提供基于自然语言的交互能力，实现自助式运维。

2.2 分层分域建设，网络层智能体是刚需

通信网络作为支撑社会信息交互的核心基础设施，具有网络结构复杂、技术难度大、可靠性安全性要求高的特点，对自智网络智能体的建设也有非常大的挑战，需要充分利用各厂商的专业化能力，分层分域建设智能体，共同应对这些挑战。网络层智能体通过提供面向专业领域的精准管控和分析能力，使能单域自治，支撑构建稳定可靠的网络基础设施，是实现 L4 高阶自治的加速器和使能器。网络层智能体的价值和作用，主要覆盖如下几个方面：

1. 具备精准识别和根因定位能力，使能上层端到端

闭环。网络层智能体具有领域专业知识和模型能力，并通过与智能网元紧密配合，异常发现更全面、根因定位更准确。以网络故障为例，面向 L4，故障智能体需要具备故障 / 隐患识别、根因定位、保活 / 修复方案生成以及执行的端到端自动化能力，从故障的全面定义、精准识别到根因诊断，都依赖设备内部功能原理、实现机制以及设备更强的感知能力。故障发生时，除了产生告警，还伴有指标异常、错误日志、设备状态异常或配置错误等，故障的精准识别，需要依赖更多的多维网络数据；故障根因诊断，则需要定位到设备内

部最小可替换单元、具体根因以及所在位置，才能准确给出修复方案。比如设备单板故障，需要准确定位出是单板硬件故障、还是单板不在位，或是类型不匹配、注册失败等具体根因，同时给出单板类型以及所在的柜号 / 框号 / 槽号以及当前配置等，才能根据具体根因给出准确的修复方案和建议。网络层故障智能体基于领域故障知识库和故障模型，可以精准识别和处理故障，上报结果性 incident，从而大幅减少无效工单，支撑精准处置和上站，促进端到端自动化。

2. 具备单域自主决策与灵活应变能力，使能更快实时闭环。网络层智能体部署在网络层近设备侧，具备更快感知和闭环能力，可以减少故障和异常对上层用户和业务的影响，从而减少用户申告。通过智能网元实时感知网络流量、拓扑、设备状态等信息，并内置领域 AI 模型和专业算法，早发现早处理早闭环。比如，当某区域网络流量突发增长，网络优化智能体通过实时分析，并针对可自优化的性能类问题进行自主调整配置和调配资

源，保障网络流畅，快速实时闭环从而避免产生更大影响。

3. 支持灵活的集成模式，简化和降低集成难度。传统应用接口基于结构化 API，需要针对业务场景和具体功能定义详细接口，在接口设计 / 开发 / 测试 / 集成以及后续的接口管控等方面都会花费大量时间和成本。网络层智能体支持多种灵活的集成方式，从接口级集成走向应用级集成，从而可以简化并降低集成难度。基于场景化 API 的集成方式下，通过优化消息模型、定义面向场景的大颗粒接口，可以大幅减少接口数量，减少接口管理、开发和集成工作量；Copilot 集成方式下，通过基于自然语言的 Copilot LPI 对接，意图表达更为丰富和灵活；基于 MCP-T 协议的集成模式，则通过提供标准化的上下文传递方式，简化了与上层的集成；后续基于 A2A-T 协议，可以使能系统间集成进一步向多智能体自协商集成演进，从而进一步大幅减轻集成难度和复杂度。

2.3 上下层智能体协同，高效使能端到端闭环

网络层智能体使能单域自治，通过将网络数据变为面向结果的事件并开放能力，支撑运维从依赖人工转向自动闭环；业务层和商业层智能体使能跨域协同，关注用户和业务体验，实现跨厂商跨网络的端到端闭环。在不同场景下，网络层智能体和业务层智能体基于各自分工并上下协同，共同支撑实现 L4 高阶自治。

1. 在故障场景下，网络层各域的故障智能体负责单域故障的识别、诊断和修复等自动化处理，业务层故障智能体负责跨网络跨厂商的故障端到端处理。网络层故障智能体与业务层故障智能体上下协同，通过将上报告警变为上报故障 incident，大幅减少上层无效工单，并通过基于 Copilot 的人工辅助处理，提升故障处理效率。
2. 在网络优化 / 能效优化场景下，网络层智能体负责本领域内优化问题感知分析、优化方案生成、实施和效果验证的网络 / 能效自优化，业务层质量 / 优化中心主要负责优化 / 节能策略和目标管理，并提供基于 Copilot 的人工辅助处理能力。
3. 在体验保障场景下，网络层智能体负责单域内质差识别、根因分析到优化方案生成和执行的单域性能优化，业务层智能体聚焦业务质量和用户体验，负责跨域跨厂商的端到端业务分析和体验优化，上下协同，最终保障用户的网络和业务使用体验。
4. 投诉处理场景下，业务层投诉处理智能体在客服、计费、工单等多个运营系统配合下，完成投诉自动化处理；网络层智能体主要向业务层智能体开放单域能力，对网络问题导致的投诉进行诊断和处理，支撑业务层智能体完成端到端闭环。
5. 业务开通 / 交付场景，业务层编排中心负责端到端流程编排和处理，与工单、资源等系统配合，完成方案生成、资源调度、业务配置和验证；网络层智能体主要向业务层智能体开放资源分配 / 业务配置 / 激活等单域能力，支撑完成端到端闭环。

以无线 MBB 故障为例，面向 L4 目标态，网络层智能体和业务层智能体的具体分工与协同流程如下：

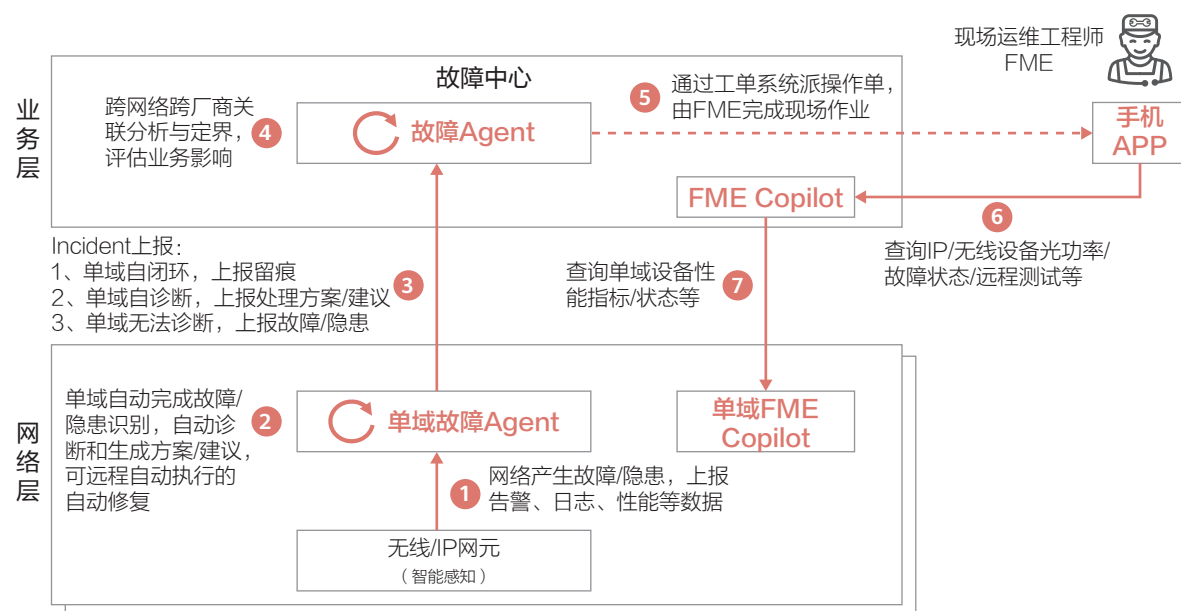


图 2-3 故障智能体分工与协同

在网络层，无线 /IP/ 核心网等单域故障智能体，利用智能网元实时感知的告警 / 指标 / 日志 / 环境等多维数据，自主完成故障或隐患识别，进行定界定位并完成根因分析、生成修复方案；对于软件或配置类等可自动修复的故障，自动进行故障修复及验证后向上层故障中心上报故障处理结果；对于无法定位或不能自动修复的故障，则提供故障定界信息或修复方案 / 建议后，上报上层故障中心。

在业务层故障中心，故障 Agent 基于故障 incident，完成跨网络域、跨厂商的故障关联分析、定界和业务影响评估，自动生成操作指引和操作单，对于需要上站处理的故障，通过 Copilot 指导上站人员高效完成处理，实现故障快速闭环。另外，对于故障 Agent 无法处理的疑难问题，由 NOC 工程师进行专家接管后完成人工处理。

2.4 自智网络智能体的功能参考架构

自智网络智能体具备从感知分析到决策执行的闭环能力，大大提升了网络运维运营的自动化、智能化水平，使能网络运维运营走向端到端自动化。自智网络智能体提供通信领域场景化应用功能，并通过与周边网络环境、用户和其他智能体之间的交互 / 协同，以及调用外部其他系统和工具能力，广泛支撑网络的故障、优化、体验保障、投诉处理、业务交付等各场景，实现运维运营的闭环自动化。参考 TM Forum IG1251D 的自智网络智能体架构，进一步细化的自智网络智能体功能架构参考如下：

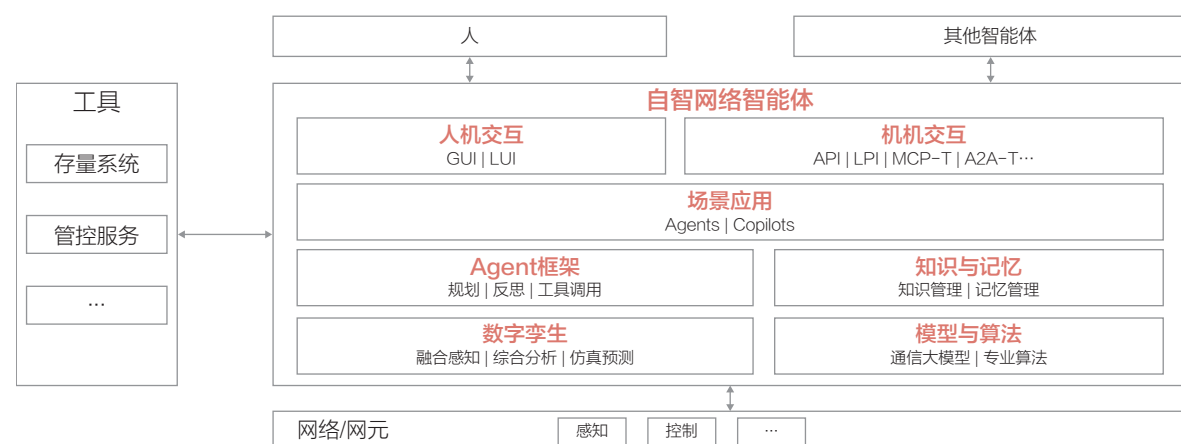


图 2-4 自智网络智能体参考功能架构

如上图所示，自智网络智能体的核心功能模块包括模型与算法、数字孪生、知识与记忆、规划 / 反思 / 工具调用、场景应用以及人机 / 机机交互等，各功能模块说明如下：

- 模型与算法：**包括通信大模型和专业算法（或专业领域模型）。通信大模型主要提供语言理解、推理和生成能力，专业算法主要提供分类、排序、预测等专业化能力。通信大模型与专业算法结合，作为自智网络智能体的大脑，支撑智能体决策闭环。
- 数字孪生：**数字孪生是对物理通信网络的精确镜像，是实现网络状态感知、预测分析以及仿真优化的核心模块。通过融合感知、动态建模和闭环控制等，为自智网络智能体提供实时网络数据和状态，辅助对实体网络的数字化、智能化管理和运维。
- 知识与记忆：**知识和记忆模块是自智网络智能体存储、管理和利用领域知识以及交互历史的功能模块，包括知识管理和记忆管理两部分。知识子模块主要提供领域知识建模、高效检索、知识库更新等能力；记忆子模块管理自智网络智能体与

外部的交互历史和任务状态，包括当前会话或近期操作的短期记忆（工作记忆）管理，以及网络案例知识、用户行为习惯等长期记忆存储。

- Agent 框架：**Agent 框架是自智网络智能体实现复杂任务闭环的核心控制模块，为自智网络智能体提供任务规划、行为反思以及外部工具调用等能力。
- 场景应用：**场景化应用模块承载通信领域专属业务逻辑，是自智网络智能体落地具体场景的业务执行模块。聚焦故障、优化、体验保障等网络运维运营的核心场景需求，提供异常识别、诊断、修复、网络优化等领域功能，实现场景自动化。
- 人机 / 机机交互：**人机 / 机机交互模块是自智网络智能体与人、外部系统和环境的交互桥梁和连接通道。人机交互包括图形化 GUI 界面、自然语言 LUI 对话式界面以及语音交互等多模态方式，实现双向信息传递和人机协同决策；机机交互交互方式既包括通信领域传统的标准协议、API，也包括基于自然语言的 LPI、面向工具调用的 MCP-T 协议以及面向智能体协同的 A2A-T 协议等。



03 自智网络智能体的关键技术和发展方向

自智网络智能体的任务自闭环能力依赖于一系列关键技术的支撑，主要包括通信大模型、数字孪生、智能协同、智能交互、智能记忆、智能学习等。自智网络智能体利用通信大模型理解任务目标、规划工作流程、实施行动步骤，当执行受阻时结合环境反馈信息反思原因、改进工作流程；数字孪生是自智网络智能体的数据源和仿真器，数字孪生不仅为自智网络智能体及时获取网络融合感知信息，还为自智网络智能体下发的行动策略提供仿真验证环境，推演和评估行

动策略的影响；自智网络智能体通过智能交互技术实现人机协同，通过智能协同技术实现智能体间协同，通过智能记忆技术保障专注于目标任务的执行能力，通过智能学习技术提升自主进化能力，这些关键技术共同发挥作用，才能保障自智网络智能体在真实网络环境中具备高效、稳定的自主行动能力，在各种应用场景中具备灵活、自适应的泛化能力。自智网络智能体的关键技术沙盘如下图所示：



图 3-1 自智网络智能体技术栈

3.1 通信大模型：从语言大模型到智能体大模型

通用大模型面对通信领域应用场景仍存在能力不足的短板。虽然开源通用大模型能力进步日新月异，但是直接应用于通信领域场景中，仍然面临领域适用性不足、推理时效性不足等难题：

1. 通用大模型存在通信专业领域知识不足的缺陷，难以直接满足网络任务意图理解、复杂故障诊断分析、工作流程任务编排等通信领域应用需求；
2. 在通信领域应用场景中直接应用通用推理大模型时，存在“简单问题长思考”现象，面对网络状态查询、已知故障诊断等简单任务时，推理大模型仍然经常执行慢思考，导致推理时间长、效率低，用户体验差，无法满足通信网络应用场景对智能体低时延响应的业务需求。

通信大模型需要理解通信领域经验知识，解决通信领域应用场景中的复杂问题。通用大模型经历了从语言大模型 (LLM) 到推理大模型 (LRM) 的进化，正在经历从推理大模型 (LRM) 到智能体大模型 (LAM) 的进化过程，大模型内生能力正在从自主编程、自主解数学题向自主解决真实场景的复杂问题转化。要解决通信领域场景的复杂问题，构建通信领域智能体大模型 (Large Agent model)，就需要训练通信大模型学习通信理论知识、掌握通信实践经验，让它能够在通信领域应用场景中得到不断强化，重点需要增强三方面能力：

1. **网络任务规划**：借鉴业界训练开源大模型的优秀技术和工程经验，构建通信领域高质量语料集，获取解决各种场景化问题的 workflows 知识，增强训

练通信大模型的领域语义理解、任务规划编排能力。

2. **行动执行与工具调用**：利用智能体在网络环境中运行获得的任务规划、任务执行和环境反馈等任务轨迹数据，增强通信大模型的行动执行、工具调用、参数填充等能力，提高大模型在不同场景中执行任务的泛化能力。

3. **快慢思考协同**：增强大模型对场景化任务的难度判断能力，让大模型能够根据判断结果自主决定思考模式，对确定性的任务更多采取快思考模式，对不确定的任务更多采取慢思考模式，平衡思考深度与执行精度，选择最佳推理路径，从而提升通信大模型面对各种领域任务时的推理精度和行动效率。

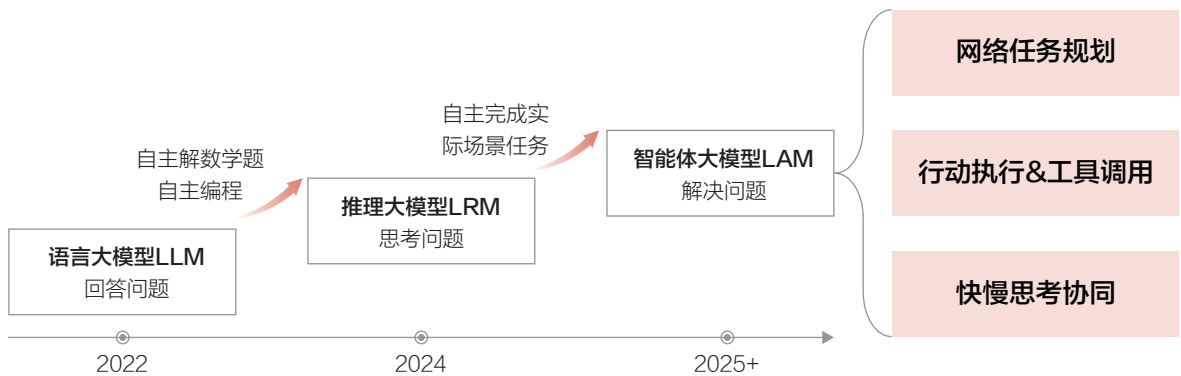


图 3-2 通信大模型关键能力

要构建以上三种能力，就需要持续深耕两大类关键技术：

1. **高质量通信语料治理**：围绕高质量、广覆盖的领域语料构建目标，体系化构建通信语料库，包括：面向网络查询与运维流程构建任务规划语料、面向故障诊断和在线优化构建工具调用语料等，通过采集、合成、治理等方式持续积累通信领域知识、思维链和行动轨迹等关键语料，为提升大模型通信领域能力构筑语料基础。

2. **优化模型训推工程方法**：面向自智网络业务场景对大模型的能力要求，持续优化预训练、增训、微调、强化学习等工程方法，不断提高通信大模型解决问题的能力上限，实现“模型自动择优”，让自智网络智能体具备根据任务复杂度自动选择通信大模型推理路径的能力，将慢思考推理模型与快思考行动模型按需组合、有机协同，提高任务准确率、降低出错率，综合优化推理性能。

3.2 数字孪生：从融合感知到体验仿真预测

数字孪生需要支撑体验经营从事后感知向事前预知转变。如何构建差异化的体验经营是运营商面临的关键挑战之一。例如，如何针对个人用户实现精准放号，如何及时感知在网用户的质差体验开展针对性的服务，如何针对园区等网络级体验实现可感知可保障等。数字孪生是保障用户体验的关键基础。自智网络中数字孪生主要面临两方面挑战：

1. 关键器件故障导致业务中断，故障成本高，恢复时间长。例如智算集群中的 HBM 和光模块等关键硬件故障会导致整个训练集群任务中断，因此需要实现关键器件故障的预测预防能力。
2. 网络韧性不足导致整网故障，影响范围大，安全

风险高。近年来，全球大 T “意外事故”多发，运营商声誉受损，因此需要加强网络级故障隐患的预测预防能力。

数字孪生需要构建基于融合感知的仿真预测能力。数字孪生是保障智能体可靠运行的关键基础设施。网络数字孪生是以软件方式承载的网络行为模型。通过融合感知、孪生建模、仿真预测，数字孪生可以模拟物理网络的信号、流量、指标等关键特征，满足网络状态感知分析、网络隐患预防预测和网络策略仿真验证等关键应用的需求。

1. **融合感知**以报文、日志、告警、指标、拓扑等网络多模态数据为关键输入信息，进行“时间 - 空

间－语义”的多维度关联融合，实现网络态势融合感知分析。

2. **孪生建模**通过映射物理网络的内外环境数据，利用对象建模、本体建模、图建模等方式模拟重构网络时空镜像。
3. **仿真预测**通过仿真与预测算法支撑实现网络运维从事后感知到事前预防的逐步演进，助力体验保障和体验经营，最终达到网络零中断、业务不受损的业务目标。

数字孪生可以助力运营商构筑体验经营差异化保障能力。通过识别应用类型，检测质差事件，可以按体验细分用户群体，通过构建用户级体验量化评估模型，实现体验指标可量化、可保障，服务级别可定义、可承诺，助力运营商实现不同客户群体的差异化体验保障需求。服务开通阶段，面对业务、场景、网络的

复杂组合，通过构建用户级体验仿真引擎，可以实现开通前体验预评估，保障开通策略“敢放”。服务优化阶段，当用户体验指标出现波动时，通过优化策略仿真验证，可以检验优化参数下发的效果，保障优化策略“敢调”。

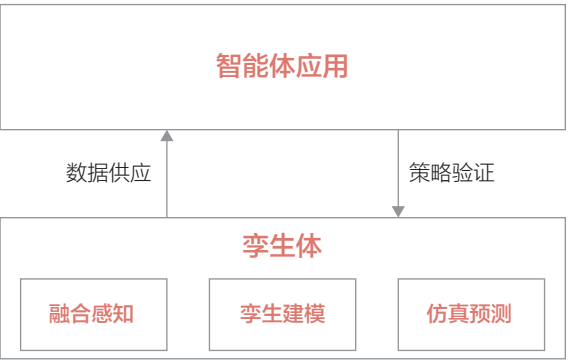


图 3-3 数字孪生

3.3 智能协同：从单智能体到多智能体协同

多智能体需要面临跨域协同和场景融合两类关键场景挑战。随着自智网络 L4 的商用落地逐步推进，场景探索逐步进入深水区，跨域协同任务和场景融合任务两大类场景成为最突出的业务难点问题，迫切需求构建关键能力。

跨域协同任务（如跨域故障诊断）严重依赖多人、多系统与多组织间的定向沟通，交互信息碎片化、信息传递滞后性等问题，导致跨域协同整体作业流程长、效率低，难以快速响应跨域故障自诊断的准确性要求，难以满足场景自闭环的时效性要求。

场景融合任务（如故障、节能和优化融合）受网络上下文环境动态演化影响，不同场景任务的目标优先级策略容易出现冲突。例如，故障智能体需优先调配资源保障业务连续性，而节能智能体则要求减少资源消耗，两个任务的资源分配策略容易产生矛盾。现有模式下缺乏动态协商机制，无法根据实时网络状态灵活调整目标策略优先级，导致多场景融合联动时，难以平衡业务需求、化解冲突。

智能协同需要构建跨域通信、自主分工、动态协商能力。

一是跨域通信能力，通过构建统一的语义表达信息模型与智能体通信协议，实现多智能体间信息的精准解析与高效传递；

二是自主分工能力，基于任务特征与智能体专业能力画像，实现动态任务分解与角色分工，支持多智能体在无中心调度下自主协同、高效执行。

三是动态协商能力，通过构建基于共识的多智能体协商机制，结合实时网络状态与业务优先级，动态调整任务目标权重，实现多场景间策略的智能平衡。

要实现智能协同能力，需要重点突破智能体通信协议、自主协同两大类关键技术：

1. **智能体通信协议**：兼容行业主流协议（如 A2A 等），增强通信领域工作流信息模型等业务语义定义，增强任务协商协作控制机制，增强通信协议安全，定义高可靠、高性能、高安全的多智能体通信协议，确保多智能体间稳定、实时、安全的传递信息，为跨域协同和场景融合提供基础保障。

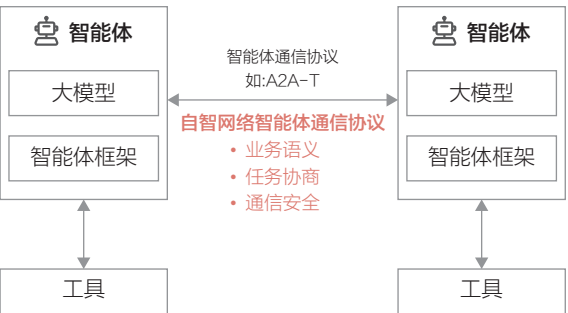


图 3-4 自智网络智能体通信协议

2. **自主协同**：自主协同分两类：竞争型和协作型。竞争型指多智能体通过博弈争夺决策权，经常需要通过仲裁、投票等机制实现高效集体决策。协作型指多智能体目标整体规划，任务分工分解，共享意图状态与行动奖励，整体收益最大化。

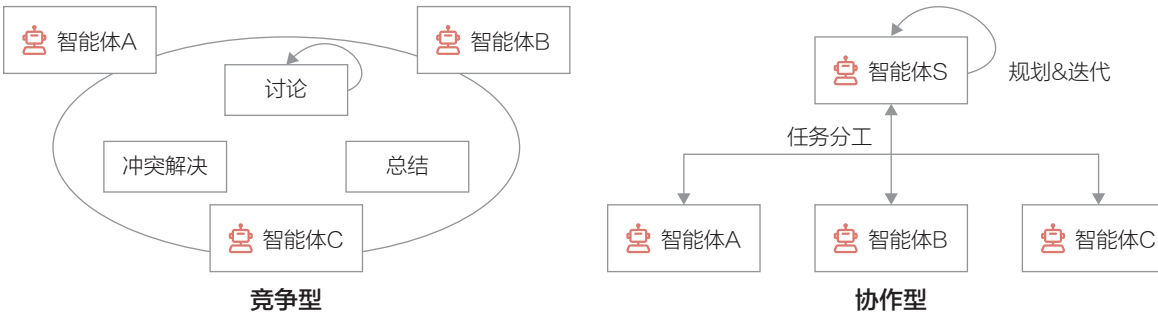


图 3-5 自主协同

不同协同模式适用不同业务场景，需要结合任务特征、规划路径、资源约束、效率考量和全局最优等因素综合权衡。实现智能体高效自主协同，可以支撑

多智能体系统理解任务需求，形成群体共识，自主协商协作、动态调整规划，化解策略冲突。

3.4 智能交互：从机器辅助人到辅助机器

通信智能体与人交互不畅，自主性不足：

1. 在人与智能体沟通过程中，人对问题的个性化表达差异显著，因此常出现描述偏差、指代模糊、意图不明、关键信息缺失等情况，导致智能体在意图识别阶段难以精准捕捉用户核心诉求，进而导致智能体生成的回答与用户需求匹配度低，用户澄清意图重复交互会增加使用负担，严重影响交互体验，智能体的网络知识查询、故障经验反馈等智能服务将无法高效满足用户诉求。
2. 智能体自主任务规划存在规划逻辑流程不完整、流程中工具选择与任务需求不匹配、流程终止时机判断不准确（如任务未完成却提前终止）等问题，影响任务端到端成功率，场景化故障自闭环的实现难以得到可靠支撑。

要实现人与智能体间无障碍交互，需要智能体具备理解力、专注力、闭环能力：

1. 意图理解与语义增强能力，实现对人机交互中用户个性化表达的精准意图还原。
2. 目标任务的专注力，自主规划，任务分解，支持多轮任务延续、交互意图连续。
3. 执行闭环能力，基于任务目标、环境反馈、上下文信息，构建可解释、可迭代的动态灵活的任务规划执行，确保人机协作任务端到端高效闭环。

需要重点解决人机交互过程中的意图识别、自主规划、反思评价三大类关键技术：

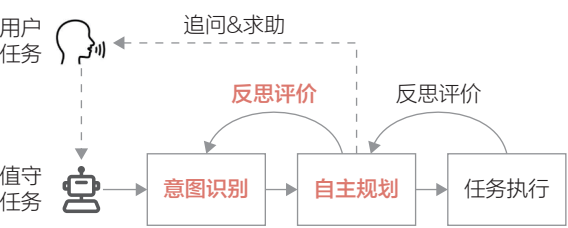


图 3-6 智能交互

1. **意图识别**，提升智能体对专业领域任务目标的解析能力，对用户习惯性表达与简略表达的理解能力，对网络领域多模态输入的准确理解能力，实现各种用户意图的精准理解与目标提取，从“机器辅助人”向“人辅助机器”逐步转变，最终为人提供极致的交互体验；
2. **自主规划**，重点提升智能体根据任务需求与实时交互信息灵活调整执行步骤、选择工具的能力，保障任务自规划逻辑连贯合理正确，从“专家交互式引导”向“智能体自主规划”的目标进化；
3. **反思评价**，对任务执行过程与结果进行动态评估，及时修正规划偏差，驱动智能体在交互过程中同步进行推理、反思，逐步缩小与任务目标的偏差，确保任务高效闭环。

3.5 智能记忆：从碎片化到自组织

通信智能体推理能力过程存在准确性和泛化性两大制约因素。

由于网络背景信息缺失导致智能体推理缺乏针对性，例如用户反馈故障现象“通话断断续续”时，通常无法直接提供基站位置、基站类型、周边干扰环境、天线参数等关键网络背景信息，这种情况造成大模型因缺乏场景化数据支撑，无法结合具体网络场景定位问题根源，导致推理结论实用性不足，仅能输出通用性排查建议，难以高效指导故障处理。

此外，用户与智能体交互的历史信息多为离散片段，大模型很难针对离散信息开展关联分析。在网络故障运维场景中，故障线索信息以孤立信息片段的形式存在，如“基站闪断”“误码告警”“ping丢包”等，描述数据无法自动形成关联链路，大模型无法识别各事件间的因果关系或关联性，推理方向偏离事实本源，问题诊断错失关键线索，导致故障场景难闭环。

提升智能体推理能力需要构建智能体记忆自组织能力。需要构建具备网络上下文信息动态关联和领域经验知识分层关联的记忆自组织能力。通过整合网络运行数据与历史经验信息，构建结构化上下文体系，实现对离散化碎片化信息的关联整合、信息补全，为大模型推理提供有效的场景化数据支撑。

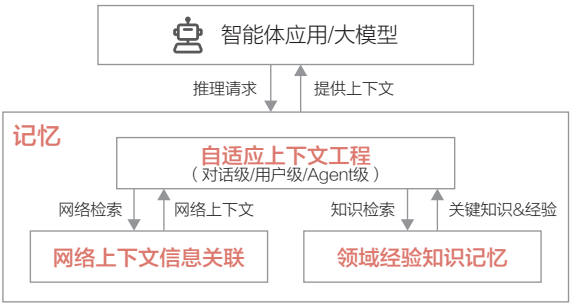


图 3-7 智能记忆



3.6 智能学习：从预定义到动态增强

多场景泛化需要智能体具备自学习能力。通信网络故障类型多样、业务需求持续演进，单一场景下的预设规则难以覆盖全部实际需求。若智能体缺乏泛化能力，将导致应对新场景时响应滞后、策略失效，难以实现自主闭环。

智能体既需要具备经验知识自学习能力，又需要具备现网环境自适应能力，目标都是提升自智网络智能体的领域任务泛化能力，突破预定义工作流的限制，从专家经验和网络环境中自主学习、动态增强。

一方面，运营商需要智能体具备在线学习专家经验的能力，例如，当智能体无法自主处理未知故障或者任务执行过程中遇到无法继续的阻断类问题时，智能体需要具备主动求助人类专家寻求帮助的能力，通过人类专家提供经验性或尝试性的解决方案，或者由智能体推荐诊断故障的可能方向，由人类专家做判断选择，通过这种专家“示范教学”或者“人机交互探索”

过程，最终解决问题后，智能体经过“记忆转知识”的总结过程，学习人类专家经验，并将这种经验自动转化为知识库的新知识以及大模型的自主处理能力，这就能使智能体具备一种模仿专家的学习能力。

另一方面，不同局点的网络环境各不相同，同样的智能体、相同的工作流，会因为不同局点的网络数据和运行状态的差异，导致智能体在不同局点部署时产生不同的问题。在这种情况下，基于静态知识语料训练的智能体往往存在适应能力不足的问题，无法高效适配不同的现网环境，因此，智能体需要具备在线自适应学习能力，以满足不同局点不同网络中部署后的能力泛化需求。

构建智能体自学习和自适应能力需要突破两方面关键技术：

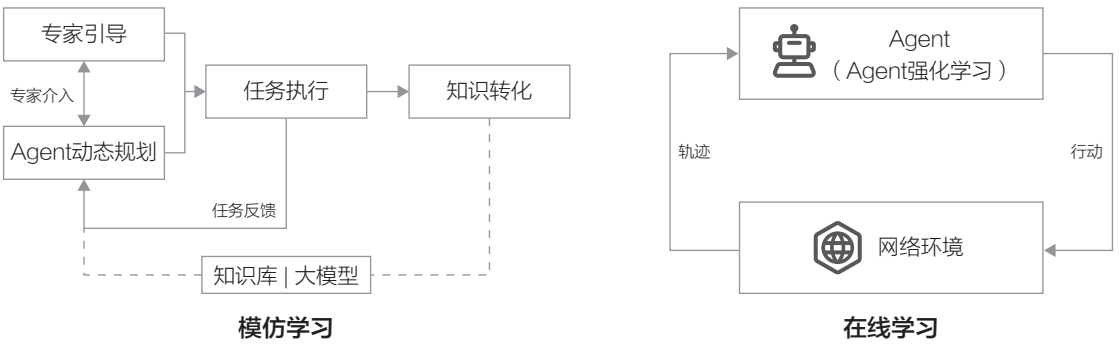


图 3-8 智能学习

1. **模仿学习**：让智能体具备模仿人类专家处理复杂故障的经验学习能力。当智能体无法自主解决问题时求助人类专家，经过专家示范操作和人机交互探索过程后，最终故障得以解决。智能体将新的故障诊断知识转化为大模型的内生能力，实现智能体自学习专家经验。
2. **在线学习**：智能体获得真实网络运行中的行动轨迹数据，通过 Agent 强化学习的过程，动态适应局点变化，确保智能体在不同的网络部署时能够自适应不同的网络环境和数据分布特征，达到多局点泛化的效果，增强智能体应对变化的能力。

04 自智网络智能体中构建大模型的三大要素

4.1 专属性：具备高专业性、强鲁棒性和可执行能力

当前在通信领域构建一个专属性强的通信大模型，主要问题集中在语义理解、逻辑推理和执行落地三个层面：

- 通信领域语料不完整：**通用模型的训练语料主要来源于互联网公开数据，缺乏设备商完整的通信协议、网元日志、告警、设备配置等专业度信息，导致模型在面对专业术语与领域上下文时产生理解偏差。
- 通信领域逻辑链缺失：**通信网络是一个多层级、多系统耦合的复杂体系。通用模型往往只能进行表层模式匹配式推理，缺乏对跨系统因果链、层次依赖和时序逻辑的真实理解能力，难以支撑故障根因定位、性能优化与策略生成等自治决策任务。
- 通信知识融合不足：**通信知识体系高度分散，既包含标准文档、网元手册，也包括隐含于专家经验与运维规程中的非结构化知识。通用模型缺乏将这些碎片化知识融合为统一认知体系的能力，因此在高复杂度任务中容易出现逻辑断裂和推理不连续。

4.2 预集成：自智网络智能体中交付大模型的最优路径

通信行业高度专业化、确定性强且对可靠性要求极高，单纯依赖松耦合的灵活对接模型并不足以保障业务效果，因此，自智网络智能体预集成大模型是通信领域交付的最优路径。

自智网络智能体需要处理的核心任务包括网络告警闭环、根因定位和实时优化等，这些任务往往伴随严格的 SOP 流程、跨系统工具链的复杂调用，以及对毫秒级响应与高稳定性的要求。由于模型缺乏对应的训练场景，若仅通过接口对接，智能体很难实现端到端的稳定交付，极易导致调用延迟、推理结果不稳定以及知识与流程的割裂，最终削弱任务闭环的完整性与可信度。

尽管当前业界尝试通过检索增强生成（RAG）等方式，将外部知识库动态引入通用模型以提升适配性，但在通信场景中，这种方案仍存在知识检索稳定性不足、模型输出可控性欠缺等问题。因此，构建具备行业特征的通信大模型成为必然。自智网络智能体对模型的核心要求体现在三个方面：

- 领域语义理解能力（Understand）：**模型需要能够精准理解通信领域的专业语境，覆盖协议规范、网元特性、设备日志与告警等专业化信息，从而具备通信领域的语义理解与知识解析能力。
- 因果推理与决策（Reason）：**通信领域，智能体面临的不仅仅是单一逻辑推断，而经常面临跨域跨场景下，网络性能、拓扑变化、业务策略、外部干扰等因素相互耦合，构成动态复杂的因果链。模型要具备跨域、跨场景、跨时序的长链推理能力，以支撑复杂自治行为的策略制定。
- 自治执行与闭环（Act）：**模型输出不仅要能说对，更要能做对。其结果需要能够与 SOP、规则库及多层级网络工具链紧密衔接，使认知推理自然转化为可执行的运维动作或自动化指令，真正形成闭环价值。

在这种背景下，预集成模式展现出明显优势：

- 模型内嵌业务逻辑，确保推理可执行、闭环可验证：**预集成让模型在设计阶段就与智能体的 SOP、流程、工具执行链深度对齐，使模型的输出不只是语义结果，而是具备可直接驱动动作的执行语义。这种设计确保了智能体的推理能够稳定落地、可回溯、可验证，实现从推理到执行的确定性闭环。
- 一体化交付架构，显著降低适配与部署成本：**通信现网接口差异大、版本复杂、适配成本高。松耦合模式下，智能体需要频繁集成，造成项目周期长、交付资源消耗大。预集成模式则将关键资

源和接口收敛到统一架构中，实现“开箱即用”，大幅提升部署效率与规模复制能力，支撑通信智能体的快速商用。

预集成并不意味着架构僵化，而是一种关键能力深协同 + 架构层面保持解耦的平衡模式。在这种设计

下，模型仍可替换升级、能力仍可扩展，而系统稳定性与自治闭环能力不受影响。预集成不是封闭，而是为闭环确定性负责，是通信领域规模化落地自智网络智能体的现实最优解。

4.3 共进化：自智网络智能体与大模型相互促进发展

自智网络智能体与大模型关系从调用关系转向能力共生，预集成使自智网络智能体高效落地，协同进化的构建自智网络智能体能力长期增长。模型不再是被动的推理引擎，自智网络智能体也不再是执行结果的工具，两者通过任务闭环形成“共生关系”：模型负责认知与推理，自智网络智能体负责行动与反馈，双方共同服务网络自治目标。

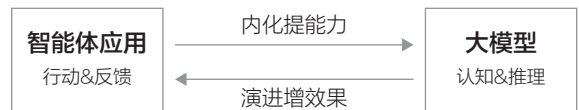


图 4-1 智能体应用与大模型的相互关系

1. 模型演进促进自智网络智能体更快速、更智能的决策：

- 理解力增强：**大模型将复杂网络机器数据信息（日志、告警、配置等）转化为自智网络智能体可理解的语义，提高问题识别和场景理解能力
- 决策力增强：**借助和模型强化学习能力，自智网络智能体在动态网络中能够快速选择最优操作策略，应对复杂动态环境
- 泛化性增强：**模型提供规划与策略生成能

力，不再仅限于执行预定任务，更好地理解 and 应对复杂场景中的未知情况

2. 自智网络智能体演进促进模型能力提升：

- 知识内化：**自智网络智能体在执行过程中积累的场景经验、故障路径和网络规则被模型吸收，形成长期知识库，提升模型的专业认知能力。
- 操作内化：**自智网络智能体的 SOP、工具链调用和任务闭环能力被内化，使模型输出可以直接执行，实现从认知到操作的闭环转化
- 策略内化：**自智网络智能体在不同场景中对决策策略的优化方法被内化，使模型能够自主调整决策方案，实现实时优化与跨场景迁移能力。

综上，自智网络智能体的成功实践依赖于三方面的协同：通信大模型提供精准认知与推理能力，预集成确保专业化执行与高可靠性落地，模型与自智网络智能体协同进化推动整体能力持续提升。这一体系不仅满足了当前通信业务对稳定性、专业性和效率的严格要求，也为自智网络智能体与大模型的持续演进奠定了坚实基础。



5.1 智能体集成交互的四种范式

业界智能体协议蓬勃发展，当前主要实践沿两个方向推进：一是赋能智能体使用工具，以模型上下文协议 (MCP) 为典型代表，为 LLM 提供了标准化的上下文信息传递机制，解决智能体与外部工具间的碎片化集成挑战。二是实现智能体间的互联协作，以 Agent to Agent 协议 (A2A) 为典型代表，旨在定义

开放的协议标准，以规范智能体间的通信与互操作行为，从而实现多智能体的复杂任务处理。

通信网络迈向高阶自治的演进过程中，自智网络智能体接口协议范式呈现多元化，存在如下四种典型集成范式：

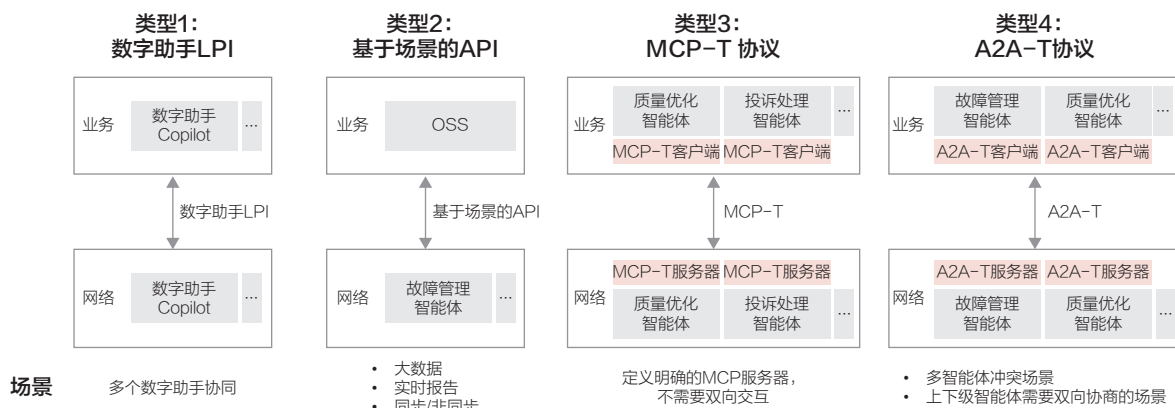


图 5-1 自智网络智能体接口协议范式

- 1. 基于 LPI (Language Programming Interface) 的 Copilot 集成：**Copilot 作为面向角色的数字助手，通过 Copilot LPI 自然语言接口 (TM Forum 785) 开放数字助手的智能问答能力，与 OSS 系统或上层 Copilot 集成 (多 Copilot 协同场景)，融入 FME/ 装维作业流程。Copilot LPI 交互基于自然语言范式，相对于传统结构化 API，提升了灵活性和自适应性，降低了集成复杂度。Copilot 智能问答场景扩展，OSS 系统免二次集成。
- 2. 基于场景化 API 的 Agent 集成：**自智网络智能体提供面向高价值场景的场景化 API，基于成熟稳定的接口集成方案，支撑自智网络智能体平滑融入客户生产流程，保护运营商既有投资。场景化 API 具备结构化特征，作为当前最成熟、应用最广泛的接口范式，基于预定义的接口 Schema，能够保障系统间实现确定性交互和数据传输。该集成范式适用于对交互确定性、性能、

可靠性要求较高的场景，例如政企专线业务开通、故障上报、家宽业务保障质差数据上报等。

- 3. 基于 MCP-T (MCP for Telecom) 的 Agent 集成：**MCP 作为连接 AI 应用和外部系统 (工具 / 资源等) 之间的开放协议，标准化了上下文传递方式，提供了 AI 原生的交互机制，可作为自智网络智能体接口协议范式之一。面向单域自治、跨域协同，网络层智能体对外提供封装后的 MCP Server，业务层智能体基于 MCP 协议可灵活调用网络层封装的能力，从而改变了传统 OSS 集成的硬编码模式，简化系统集成。当网络层 MCP Server 新增能力时，业务层智能体无需进行接口适配，显著提升了跨层协同的敏捷性。然而受 MCP 协议定位与技术本质所限，其在通信领域的应用存在一定的局限性：不适用于订阅 / 上报高实时事件、大数据量导出上报等场景；基于单向的“请求 - 响应”交互模式，不支持多轮交互及双向协商机制；由于 MCP 交互过程涉及

LLM 推理，在性能和效率方面仍面临挑战。

- 4. 基于 A2A-T (A2A for Telecom) 的 Agent 集成：**A2A-T 协议旨在面向自智网络智能体之间的复杂协作场景需求 (如跨域复杂任务协同、冲突决策场景等)，支持 Agent 能力发现、任务协作、事件订阅上报机制、多轮交互、双向协商等。基于 A2A-T 的 Agent 集成范式的关键特征包括：第一，任务驱动的目标协作：以高阶任务为目标，

驱动智能体之间的协作；第二，极致的解耦与灵活性：基于统一的 A2A-T 协议接口与 Prompt 范式，灵活表达协作目标及交互逻辑，无需面向具体场景或功能预定义对应的结构化 API，实现智能体之间的深度解耦和高度灵活性；第三，运行时的智能协商：传统集成依赖运营商、设备厂商、OSS 厂商多方人工协作，A2A-T 基于 Agent 能力发现，任务协作，多轮交互及协商机制等，支持多智能体在运行时的自主协商与动态集成。

5.2 面向未来演进的 A2A-T 智能体交互协议

通信领域多智能体互联协作面临的关键挑战和诉求：通信领域生产系统承载着大规模、高复杂度的通信网络管理及运维运营，其运维过程要求极高的准确性、安全性、可靠性、实时性。因此，多智能体协作需要匹配通信领域的准确性、网络动态变化实时性强、跨域跨厂商交互场景复杂等特征，并满足运营商对生产级操作的安全管控需求。因此，通信领域的多智能体互联协议，不仅需要实现智能体之间的互联互通，更需应对以下几个维度的核心挑战与诉求：

- 1. 协作准确性挑战：**通信运维任务专业术语繁多、系统间集成对于准确性和确定性要求高，依赖通用自然语言交互极易产生歧义和理解偏差，无法满足通信生产级协作。
- 2. 事件驱动的协作挑战：**网络故障等场景具有突发性，缺乏标准化的事件订阅与推送机制，难以实现跨智能体的实时感知与协同响应。
- 3. 复杂任务的协商挑战：**在跨域、跨场景的复杂任务协同过程中，任务目标需在多个智能体间依次

传递与演化。由于初始信息不完整、各智能体的认知偏差或网络状态动态变化，意图在传递过程中易失真或被错误解读，导致误配置、误操作等执行偏差，引发业务风险。智能体互联协议协商机制，需具备贯穿任务全生命周期、端到端的澄清与确认能力。

- 4. 协作效率挑战：**通信运维生产系统对系统间交互的实时性要求高，智能体之间协作可能涉及多轮交互及协商，多轮对话中重复传输的上下文会带来高昂通信开销，影响任务协作与交互效率。
- 5. 自动操作的安全挑战：**故障自修复、网络质量自优化等动网操作可能影响业务，缺乏动网操作授权机制，难以保障操作的安全性与可追溯性，存在业务安全风险。

为应对上述挑战，支撑通信运维领域的多智能体协作与集成，A2A-T 智能体互联协议具备如下关键能力：



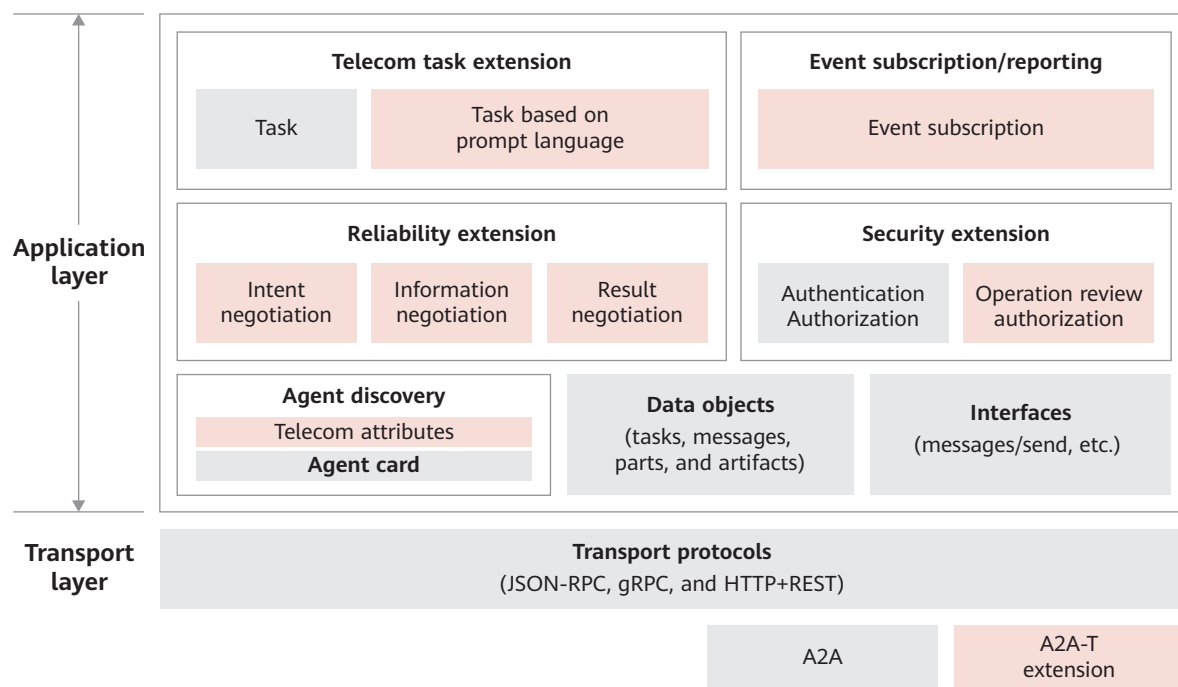


图 5-2 A2A-T 协议栈及关键能力

- 面向通信专业领域的任务表达：**通信领域任务专业属性强，生产系统交互要求高准确性。基于自然语言的任务交互存在准确性不足风险。A2A-T 定义了通信领域协作任务的表达范式 APL 以及自智网络高价值场景的任务 Prompt 模板。APL (Agent Prompt Language) 是一种基于 Prompt 范式的描述语言，约束了任务表达的核心要素，兼顾表达的灵活性和语义的准确性，并具备术语自解释、交互期望自描述等能力，提升了任务协作成功率。
- 事件订阅上报机制：**自智网络智能体集成，除了基于任务意图交互外，还涉及事件订阅上报（如故障自识别、自诊断上报），A2A-T 增加了事件订阅机制，用于推送网自识别、自诊断、自优化等结果数据 / 事件上报。
- 端到端的协商机制：**A2A-T 提供任务端到端的协商机制，包括目标协商、任务澄清协商、缺失信息协商、结果协商等，提升任务协作的准确性。
- 高效通信：**定义协议层级的上下文引用机制（包括上下文句柄、上下文元数据信息、引用的语法定义），使得智能体可以在多轮对话中引用之前的上下文，而不必重复传输整个上下文降低长上下文的 Token 开销，提升智能体之间通信效率。
- 协作安全：**增加智能体动网操作的授权机制，对于故障修复、优化建议下发等，运营商有动网操作授权要求，单域故障自修复、自优化触发操作授权请求，提升动网操作的业务安全性。

5.3 A2A-T 重塑系统集成模式与交互模式

基于 A2A-T 的 Agent 接口使能多智能体互联协作是演进方向和趋势，将对系统集成带来根本性转变，包括系统集成模式重塑、交互模式重塑。

1. 系统集成模式重塑

传统集成的主要挑战和痛点包括：

- 集成流程依赖设备厂商 / 客户 / OSS 三方协同：**系统集成过程依赖客户、设备厂商、OSS 厂商围绕业务流程、集成场景等进行多轮对齐集成需求、集成方案以及详细的接口定义，设备厂商和 OSS 需要基于约定的接口基线分别进行开发、联调测试、上线，系统集成 TTM 月级。
- 基于传统北向接口集成复杂度高：**传统北向接口的结构化定义，与具体功能 / 场景强绑定，运营商 OSS 集成一般涉及多场景、多功能，集成对接涉及的 API 数量较多，集成复杂度高。
- 难以敏捷响应需求变化：**传统北向接口因其固化的定义，当面临集成场景 / 功能需求扩展时（如新增功能或属性等），往往需要修改接口定义，进而产生二次开发和集成成本。

多智能体协作催生了新的系统集成范式，使能集成模式从人工集成向多智能体自协商集成演进。主要变化包括：

- 集成模式重塑：**从静态预定义到动态自协商
传统集成基于预先严格定义的静态接口，A2A-T 带来了全新的集成范式，通过智能体之间的能力发现、任务协作、自主协商，实现运行时的动态自集成。重塑了传统的集

成模式，极大提升了 OSS 的集成效率与业务敏捷创新能力。

- 集成接口统一：**A2A-T 协议实现语义互操作

A2A-T 协议通过提供面向任务及事件驱动协作的统一接口，为故障处理、网络优化、客户投诉等多种场景提供统一的智能体“对话语言”，实现与具体业务场景的解耦。从根本上降低了系统间集成的复杂度与成本，使得不同厂商、不同功能的智能体能够基于统一的“对话语言”实现无缝的“语义互操作”。

- 系统集成自适应：**面向需求变化的内生灵活性

A2A-T 的任务表达基于 APL，当集成需求扩展时（如预期输出需要返回新的信息），APL 任务表达可以灵活适应。这种面向“任务级”声明式的灵活表达和调整能力，为敏捷响应业务创快速创新和需求变化提供了技术支撑。

2. 系统间交互模式重塑

传统系统间交互基于请求 - 响应模式，存在被动执行的局限性，不具备对等协商等机制。A2A-T 协议的多轮交互及双向协商机制，为智能体自主交互协作提供基础，可基于 A2A-T 协议自主发起对话、协商、倡议。智能体不再是被动执行指令，而是可以根据自身状态、局部信息和共同目标，主动发起协商、提出解决方案或进行冲突消解的自主决策单元，基于协作实现复杂任务的协同闭环。



06 自智网络智能体的标准进展和执行建议

智能体作为自智网络 L4 的关键架构使能技术，成为各个标准组织研究的热点。TM Forum、3GPP、ETSI、IETF、CCSA 等都启动了系列研究与标准化项目。自智网络智能体的概念、定义、分类、场景等标准化和规范化探索和实践已经取得进展。

自 2019 年 TM Forum 提出“三层四环”自智网络概念和通用分级标准以来，TM Forum、3GPP、ETSI、IETF、CCSA 等多个产业标准组织深度协作，共同定义术语、标准化全景图和运维用例，已初步形成“通用架构 + 专业标准”的自智网络“架构 - 分级 - 接口规范”分层协同标准体系，累计发布超过 130 项自智网络相关标准，覆盖范围从涵盖高价值场景、功能架构、方法论、分级评估、高价值场景 E2E 参考方案 Solution package，并深入到无线网、核心网、IP 网、接入网、传输网等专业领域，形成了协同推进的良好态势。

2025 年 6 月，TM Forum 联合 75 家全球领先的产业伙伴共同发布了具有里程碑意义的自智网络白皮书 7.0，通过利用自智网络智能体体系化部署完成智能化升级，为行业提供了从理论到实践的完整实施框架和 L4 落地指南。同时，TM Forum 发布 IG1339，定义了自智网络 L4 级 20 个高价值场景的目标态与智能体能力，以 KBI/KEI 指标量化商业价值。TM Forum 还发布 IG1251 系列智能化功能架构，提供 IG150x 系列 Solution Package 解决方案包，为行业贡献业务和场景指南，助力运营量化成效、提升部署效率。TM Forum 借助上述自智网络商业架构、应用架构与信息架构，与各领域标准组织架构深度融合的同时，也与 TM Forum 开放数字架构 (Open Digital Architecture) 定义的技术架构形成标准叠加效应，共同推动自智网络健康、快速发展。

3GPP 在 6G 网络管理和服务管理的定义与应用中，计划研究如何通过自智网络智能体实现自治演进。ETSI 零接触网络与自动化工作组 (ZSM)，聚焦网络智能化运维场景，ZSM 020/021 围绕自智网络的智能体注册与发现、多智能体协作解决跨境故障场景、智能体任务协商、智能体动态 workflows、多智能体通信与任务分配、智能体参考架构、智能体部署和交

互流程，开展标准研究和探索。IETF 围绕数据通信网络运维和互联网应用两类智能体开展研究和探索，目前已有网络管理架构 (NMA, Network Management Agent)、网络管理 A2A/MCP 应用、Incident 智能运维、多智能体交互信息模型、智能体与网络数字孪生融合等二十多项智能体标准草案，处于热点讨论中。

CCSA 围绕通信网络运营的多智能体协同，开展标准研究和定义，2025 年先后启动《网络运营管理多智能体协同技术研究》、《网络运营管理多智能体协同接口技术要求》等标准项目，聚焦多智能协同场景 (跨层，跨域，跨业务)、协同架构、协同接口框架、协同接口功能需求 (任务，可靠性，效率，安全性等)、协同接口定义 (基于 A2A 扩展) 探索和推进。

伴随着自智网络产业发展进入深水区，自智网络智能体标准将逐步走向体系化和产业生态化，TM Forum IG1339 基于 L4 级场景目标态与智能体能力，构建量化测评体系，为自智能能力评估提供明确标尺；CCSA 结合多智能体协同，同步探索测评接口规范，2025 年启动测评维度设计。中国运营商基于这些测评框架，在数据中心网络 L4 级故障自愈、带宽自动调整等核心能力测评等方面已经取得显著进展。

未来，标准组织需要开展更多、更高效协作，推进自智网络智能体标准在高价值场景实践落地，也推进自智网络智能体互联互通生态等关键能力成熟。同时，也需要探索更敏捷的自智网络标准开发新模式，匹配和适应 AI 和智能体技术快速发展。



6.1 推进 E2E Solution package 参考实践

产业联合推进和延展 TM Forum Solution Package 系列标准，细化场景、架构和交互流程设计，促进智能体生态多样性发展，加速自智网络智能体商用落地。

TM Forum 自智网络 IG150x 系列 Solution Package 解决方案包，围绕 L4 级高价值场景目标态与智能体能力，以 KBI/KEI 指标量化商业价值，为产业提供统一的规范和框架，该系列标准涵盖场景、目标、特征、指标等关键要素，明确了从场景描述、架构设计到交互流程等一系列内容。2025 年 6 月，TM Forum 已首批发布无线网络故障、IP 网络故障、核心网络故障三个场景的 Solution Package。

对于运营商和设备厂商等产业参与者来说，Solution Package 系列标准减少了因标准不统一导致的重复劳动和资源浪费，为行业切实可行的部署指南，助力运营量化成效、提升部署效率，缩短业务场景从理论到实践的落地周期。例如，在网络出现故障时，智能体可依据统一的标准和协议，快速定位问题、制定并实施修复方案，减少故障排查和处理时间。同时，运营商也可基于自身业务和流程差异进行定制，

从而更快速地开展业务创新。产业各方认可自智网络 Solution Package 作为自智网络 L4 级落地关键抓手的价值，并就下一步围绕网络高频场景及跨域场景标准延展，增加智能体能力矩阵和接口兼容性声明，在算法层为厂商保留创新空间等方面，形成了产业共识。

因此，运营商、设备厂商、科研机构和标准组织等产业各方，应当联合起来，基于这些共识，开展多方面的标准协作和创新，一方面，将 TM Forum Solution Package 系列标准，延展到各单领域网络的网络优化、节能、业务保障、客户投诉处理等高频业务场景，和 HBB/MBB 跨域业务场景，实现多场景网络高效运营。另一方面，对于 Solution Package 的业务流进行更规范化封装，比如：强制要求业务流描述包含智能体能力矩阵、接口兼容性声明及数字孪生验证报告，以确保标准协同效率。进一步地，保留和改进 Solution Package 创新空间的柔性地带，鼓励厂商差异化的创新试验。比如在算法实现层，允许厂商在领域专业 AI 模型、LLM 微调策略、本地知识库构建等层面自主创新，开发标准化接口扩展能力，促进自智网络智能体生态多样性。

6.2 引入“POC 快速验证”的新标准开发模式

通过引入“POC 快速验证”新标准开发模式，产业联合探索和规范更敏捷的自智网络标准开发过程，加速和催熟自智网络智能体标准体系，繁荣自智网络智能体生态。

AI 和智能体技术变化快，以半年为迭代周期，例如大模型核心参数的优化周期已缩短至 4 个月。然而，通信产业智能体标准定义周期目前仍长达 18-24 个月，从发展速度上无法匹配技术快速发展诉求。这种速度差异，直接导致运营商在部署智能体时，面临标准滞后的困境。2025 年 GSMA 发布的《通信 AI 白皮书》显示，78% 的运营商认为现有标准流程“严重拖累 AI 应用落地”。

自智网络智能体的标准化可以采用两个轨道并行开展，包括“实验轨道”和“标准轨道”。在实践中，TM Forum 通过 Catalyst 推动“实验轨道”标准进程，以季度为周期，产业伙伴组队，通过 Catalyst Innovation Hub 项目或标准 POC 联合创新，迭代发布可商用 SDK，采用“需求驱动→快速原型→场景验

证”的敏捷流程，产生的成果成为实践类事实标准，为标准轨道提供验证数据，使最终形成的标准更具实用性与前瞻性，企业部署周期可以从 6 个月压缩至 72 小时。TM Forum 通过标准会议推动“标准轨道”标准进程，每半年发布技术报告，定义内容又反向约束实验轨道的接口规范，形成“实践→理论→再实践”的增强回路，让标准制定不脱离实际。这种开发模式，从起始阶段便聚焦于解决碎片化挑战，并驱动跨行业动态协作，可验证架构设计的可行性和跨行业快速落地能力，在 TM Forum Agentic Fabric 等项目中已取得显著成效，为通信产业提供了可借鉴的敏捷化标准定义流程参考。

在 POC 快速验证阶段，可重用和引入各种成熟的 IT 开源或事实标准、协议，实现跨行业生态融合，加速自智网络智能体生态的成熟，提升整个产业在全球市场的竞争力，为自智网络智能体的规模化应用铺平道路。如引用 IT 产业成熟的 A2A 协议框架，该协议在跨智能体通信的消息格式、交互规则等方面已形成稳定规范，能快速实现通信网络中不同厂商智能体

的实时数据交互与指令传达，减少从零开始制定通信协议的成本与时间；引入 MCP 协议则有助于提升智能体对工具调用、数据访问和 Prompt 模板管理与控制的标准化设计能力，丰富智能体的环境交互能力。

同时，在生态层面，接入 IT 产业的开源社区与生

态平台，更可以直接获取丰富的开源工具、组件及解决方案，例如：利用开源的智能体开发框架加速原型搭建，通过集成成熟的事实标准相关插件，让 POC 快速验证更贴近实际应用场景，缩短从原型到商用的距离。

6.3 建设自智网络智能体互联互通的产业生态

产业协同推进自智网络智能体的集成和互操作性标准化，加速互联互通实践和标准化，促进产业生态落地。

自智网络 L4 已经进入实施阶段，但目前网络域运营支撑系统 (OSS) 的集成仍依赖传统的项目定制方式，单个项目仍然需 1-2 年才能交付，过长的周期与过高的成本，严重地限制了自智网络 L4 规模化推进。因此，产业有必要协同推进包括智能体在内的自智网络集成和互操作标准化，消除智能体交互障碍、促进通信行业智能体格局。

从产业健康发展视角，联合多方力量，凝聚产业资源和共识，加速标准成熟，推广集成案例，共同创新、验证并标准化跨厂商的自智网络功能和智能体集成，是实现这一目标的核心手段。产业各方应当围绕如下事项，尽快形成共识和行动计划：1. 定义 L4 集

成原则，并达成产业共识，包括研究 Agentic AI 跨域跨层集成模式，如架构、接口、数据互通、安全互认等；2. 加速集成标准成熟，从实际 L4 解决方案集成部署中提炼共性需求，导入 TM Forum 及各领域标准组织；同时，输出集成实践案例，补充和增强和 Solution Package 标准；3. 推广集成案例，基于集成验证项目，如标杆项目、Catalyst 项目等，形成可快速批量复制的解决方案并推广。

从长期可持续发展视角，建设完善的跨厂商互操作认证体系极其重要，一方面联合更广泛的行业参与者，联合起来解决集成和认证难题，另一方面制定统一的测试标准，定期开展跨厂商联合测试并公开结果，以结果倒逼标准落地执行，最终实现跨厂商集成的稳定性与可靠性，满足自智网络 L4 的要求。



07 从传统网络演进到自智网络 Agentic 架构

运营商现有运营 / 运维系统向自智网络 L4 Agentic 架构演进，需要考虑改造成本和业务连续性等多重影响，充分复用现有系统能力的同时，采用从“固化经验”到“自主规划和思考”，再到“主动自治”的渐进式策略，实现从“被动响应”到“主动自治”的平滑跃迁。

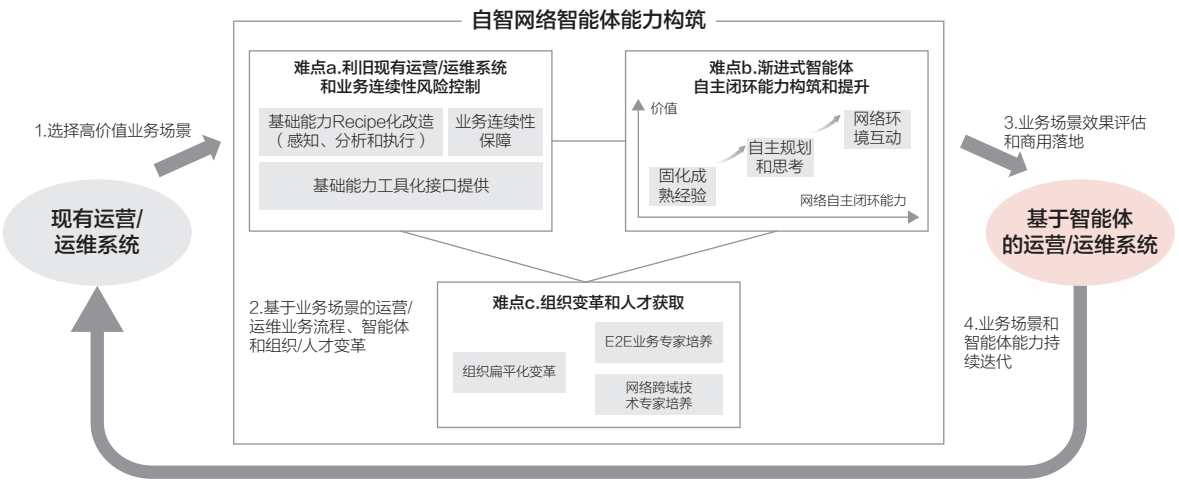


图 7-1 基于自智网络智能体的运营 / 运维系统演进

运营商现有运营 / 运维系统是复杂的在线生产系统，目标是提升人工操作为中心的流程运转效率，面向客户、商业、业务、资源等提供全生命周期管理和服务能力。它们普遍基于“工具 + 工单”的架构设计思想，经过多年发展和沉淀，已经积累大量的网络感知、分析和执行等网络基础能力。

因此，运营商现有运营 / 运维系统向自智网络 Agentic 架构演进，实际上是一个基于不断增加的高价值业务场景，进行业务能力和流程自动化和智能化的累积和持续迭代改进的过程。这一过程，需要思考三方面的难点问题：a. 如何利旧现有运营 / 运维系统的基础能力，降低改造和演进成本，既保障运营 / 运维过程的生产连续性，又保障网络不发生业务中断和 SLA 事故；b. 如何渐进式地构筑和提升智能体能力，最终达成网络完全自治闭环；c. 如何变革组织和人才机制，才能满足网络 L4 自治闭环的要求。

首先，针对运营商现有运营 / 运维系统的改造，需要考虑改造成本和业务连续性影响，应当遵循“注入新智能，利旧原系统”原则，最大化复用现有系统能力。对现有系统积累的大量网络感知、分析和执行等网络基础能力，可以通过快速 Recipe 化改造，被

新业务场景的智能体作为基础工具所使用，也可以通过 MCP-T 等标准工具化协议和接口开放能力，被所有智能体共享。这些 Recipe 化的基础工具，是自智网络实现 L4 跃迁，智能体最终实现无人工操作或少人工操作自主闭环的前提和基础。同时，在改造的前期，还要考虑增强人工接管能力，以应对少数极端和异常场景的业务连续性风险。

其次，自智网络智能体的网络自主闭环能力的构筑过程，应当采用从“固化成熟经验”到“自主规划和思考”，再到“网络环境互动”的渐进式策略，实现平滑跃迁：第一步：把运营 / 运维专家的成熟经验固定下来，让自智网络智能体能准确接手并按规范完成日常运营 / 运维工作。具体来说，先梳理当前核心的运营 / 运维流程并优化，把专家处理常见问题的有效方法整理出来，用简单易懂的语言写成操作指南，让自智网络智能体照着指南开展工作；同时借助智能工具，帮助智能体更好地理解指南内容，能按步骤执行操作，还能自动总结处理结果。这样一来，智能体能快速掌握标准的运营 / 运维方法，减少人工反复介入，让基础工作更规范、出错更少，效率也能明显提高。第二步：让自智网络智能体学会自主规划和思考，能自己规划、优化运营 / 运维流程，即智能体实现从“按

流程执行”向“会思考优化”转变，减少对人工的依赖。通过升级智能工具和专业算法，让自智网络智能体具备根据不同场景规划工作、反思问题的能力，能自己梳理工作步骤、分析解决问题的办法；同时引入专家经验辅助判断，对智能体的决策效果进行评估，如果没达到预期就继续调整，直到符合要求。这样智能体能逐渐独立处理复杂网络问题，大幅减轻工作人员的压力，而且处理问题的准确性和效率会越来越高。

第三步：让自智网络智能体主动对接网络环境，自主完成从发现问题到解决问题的全流程网络环境互动。通过强化包括领域专业算法在内的智能体内生智能能力，让它能自己感知网络环境变化、自主制定应对方案，还能直接对接网络设备落地执行；如果过程中发现新情况，能自主反思并调整方案，直到问题彻底解决。这样自智网络智能体就能脱离人工干预，独立完成网络运营 / 运维工作，让网络运行更稳定、问题处理更高效，真正实现向自智网络 L4 架构的升级。

再次，自智网络 L4 高阶自治，对运营商组织变革和人才获取也提出了全新的诉求。一方面，在组织形态上，传统的层级式组织架构在面对快速变化的技术和业务需求时，显得反应迟缓，部门间协作不畅，响应速度慢。因此，组织架构的扁平化改革迫在眉睫，需要运营商顺应数字化转型要求，打破专业壁垒，去职能化，引入流水线模式，建立端到端的高效流程支撑组织。另一方面，在人才能力上，两类跨界人才的培养非常重要，一类是“纵向协同人才”，这类人才既要懂市场商业逻辑，又要理解业务与资源的技术逻辑，能在层间协同异常时，快速定位和处理系统级问题，或执行人工接管任务，如网络重大事件保障场景的复杂业务和资源保障方案审核。另一类是“横向跨领域技术”复合型人才，需要培养具备数字化、智能体技能的网络跨域技术专家，能有效打通领域流程和数据壁垒问题，解决客户应用和业务的端到端业务和资源规划、建设、维护和优化问题。

进一步地，运营商在自智网络 L4 演进中，可依托 TM Forum 自智网络战略规划 (AN Strategy Plan) 与自智网络演进路径 (AN Journey) 明确方向、降低试错成本。自智网络战略规划从商业价值、技术目标、风险管控维度提供顶层设计框架，帮助运营商对齐自身业务诉求与自智网络演进目标，避免盲目投入。而自智网络演进路径则提供分阶段演进蓝图、路径参考和能力成熟度评估指标 (如自动化率、人工介入频次)，为运营商精准判断当前演进阶段，及时调整资源投入。此外，自智网络演进路径中沉淀的跨运营商实践案例 (如跨域协同、组织变革经验)，还能帮助运营商规避共性风险 (如系统改造中断业务、人才转型滞后)，进一步提升演进效率与稳定性。

最后，从现有系统向自智网络 Agentic 架构演进，不是一劳永逸的单次改造过程，而是基于高价值业务场景和技术成熟度，针对业务、流程的长周期持续效果评估和能力迭代改进过程，运营商需要结合自身的业务场景特点和技术成熟度，灵活制定自己的演进计划和节奏。通常，运营商高价值业务场景选择，可以遵循先从网络故障处理、业务开通等高频业务场景起步，逐步向网络优化、规划等中低频业务场景延伸。同时，运营商直接在业务层，一步到位地部署跨场景或跨领域的全局化智能体难度相对较大，这是因为涉及多个网络域协同和数据整合、复杂业务逻辑关联，需要采用从局部到全局的范围渐进控制策略，来保障演进成功。以网络跨域故障为例，运营商可以从单网络域故障根因分析做起，比如 IP 网故障智能体，积累网络故障数据处理、故障根因分析经验，逐步拓展到跨网络域简单协作场景。随着数据积累、算法优化和场景适配经验的丰富，再渐进深入到复杂业务层的跨网络域故障根因分析、故障处理和故障预防协作，确保每一步推进都能稳定落地、发挥实际价值。



08 华为 ADN 智能体实践

8.1 华为 ADN 智能体能力

华为 ADN (Autonomous Driving Network) 解决方案致力于为网络使用者带来“零等待、零接触、零故障”的新型数字化网络服务体验，为运营运维者打造“自配置、自修复、自优化”的智能网络与高效运维能力。它采用三层智能开放架构，涵盖业务层智能、网络层智能和网元智能。业务层智能汇聚通信知识资产，进行数据训练、模型生成与优化，打造跨域协同智能体；网络智能在网络管控层运用数字孪生、专业算法及服务化 API，构建单域自治智能体，实现业务意图自动化、网络运维智能化以及网络业务服务化；网元智能在设备层内嵌轻量级智能推理框架，提供网元级、短周期的融合感知、分析和推理能力，达成微秒级推理。

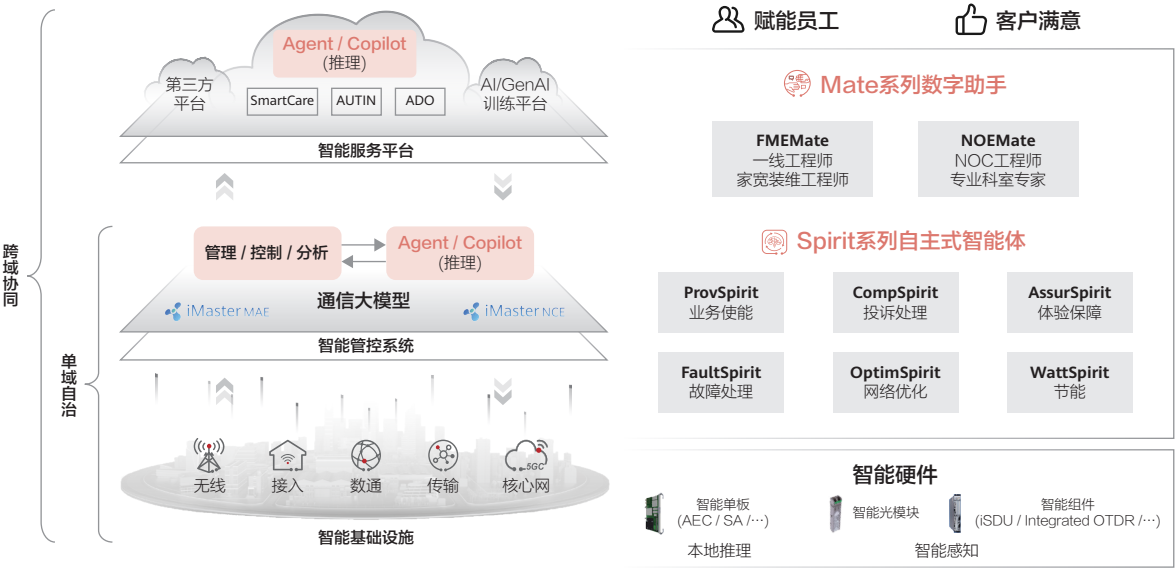


图 8-1 华为 ADN L4 解决方案概览

基于通信大模型、数字孪生、融合感知等最新技术，面向高阶自智网络，当前华为 ADN 解决方案打造了面向角色的 Mate 系列数字助手及面向场景的 Spirit 系列自闭环智能体应用。其中：

- 1. **Mate 系列智能体为华为面向现场维护工程师（FME）和 NOC 专家工程师量身打造的专属数字助手：**
 - FMEMate：**面向无线、数通和家宽现场维护工程师的手机端应用，提供确定性问题的解决方案，支持 100 个问题以内的问答交互；通过自助服务和自然语言问答，有效减少现场维护工程师的上站次数及相关操作。当前，华为的 FMEMate 应用已总计服务 5 万以上的运营商工程师，不仅将平均修复时间（MTTR）降低了 30%，还使一线维护效

率提升了 60%，显著优化了服务流程与运营效果。

- **NOEMate：**面向 NOC 专家工程师的 PC 端应用，支持高度灵活的自由式对话交互，凭借强大的意图理解能力、深度的思维链分析逻辑，以及灵活的工具调用机制，高效应对复杂场景和复杂需求，大幅提升问题解决的智能化与自主性。华为的 NOEMate 当前已应用在中国移动多个重点省份的 NOC，其价值成效尤为突出，不仅将复杂任务处理效率提升 60%，还让异常接管效率提升 80%，有效适配了复杂场景下的多样化需求，显著优化了任务处理与异常响应效果。

2. Spirit 系列智能体为华为面向维优营的 6 类高价值场景开发的自主闭环智能体应用（故障管理、网络优化、体验保障、业务开通、投诉处置和网络节能），以故障 / 优化 / 体验为例：

- **FaultSpirit:** 与传统故障处理的复杂流程相比，故障处理智能体 FaultSpirit 实现了故障识别、故障定位、方案生成等流程的全面自动化，软件相关的故障可自动修复，硬件相关的问题系统将自动精准派单，由外线作业人员上站修复验收，总体提升 40% 的故障处理效率，MTTR 降低 30% 以上。



图 8-2 FaultSpirit 处理流程图

故障处理智能体 FaultSpirit 针对不同网络领域的绝大部分典型故障进行了深度学习和训练，能基于思维链快速识别根因，处理网络故障，给出最佳修复建议。当前，在无线领域，FaultSpirit 可自动识别 32 类典型故障，覆盖电源、前传、天馈、时钟、传输等五大类型；在 IP 回传领域，可识别 24 类典型故障，包含中断、业务、劣化三大类型；在核心网领域，可识别设备和业务 KPI 相关的两大类共计 14 类典型故障。

- **OptimSpirit:** 基于多目标融合框架，网络优化智能体 OptimSpirit 通过对速率、干扰、

覆盖、时延等多个运营商网络性能的数据采集，构建一个全方位、细粒度的网络数字孪生环境，实现对网络健康状况深度感知，同时利用深度学习、强化学习等算法，从复杂的数据中精准识别网络异常（如覆盖盲区、容量瓶颈、干扰源、拥塞、时延等）、预测潜在故障，并自动根因分析，定位问题根源。基于分析结果，智能体能够自主生成最优的优化策略，并通过 API 接口自动下发配置指令，实现对网络参数（如功率、倾角、切换门限、频段选择、路由等）的实时、精准调优，形成一个完整的“感知 - 分析 - 决策 - 执行”闭环。

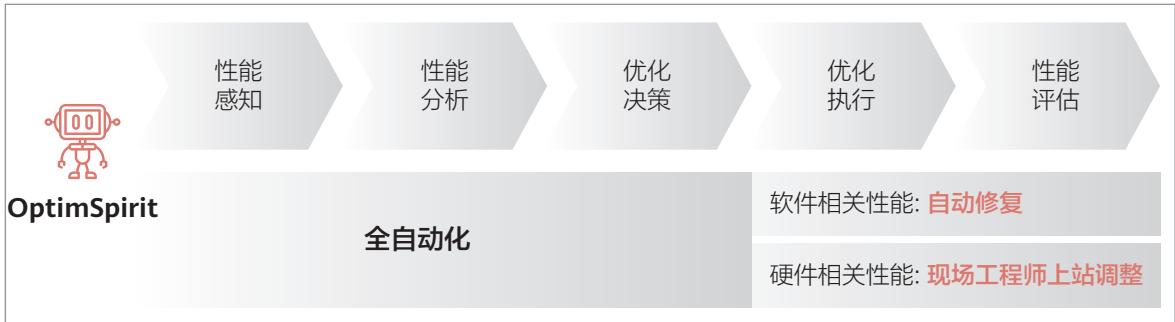


图 8-3 OptimSpirit 处理流程图

当前，在无线领域，OptimSpirit 可自动优化 14 种网络性能，包含基础、语音、流量、负载和干扰五大类型；在 IP 领域，可自动优化 6 中网络性能，包含网络级和业务级两大类。

- **AssurSpirit:** 在业务保障方面，业务保障智能体 AssurSpirit 融合应用大模型、高清数字孪生和专业算法能力，实现了从业务质差 /

隐患识别、根因定位、优化方案生成、执行到结果验证的全流程端到端自动化，其中配置类相关问题自动修复，硬件类相关问题系统可指导外线人员一次精准上站、自服务高效处理，从而助力实现业务问题从投诉驱动、被动处理到主动识别、主动优化的转变，实现在客户投诉前解决用户问题，为用户提供卓越的用户体验。

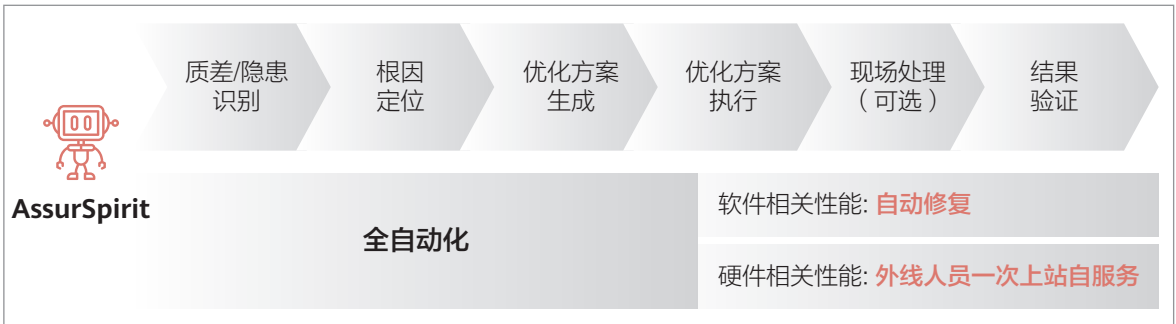


图 8-4 AssurSpirit 处理流程图

以家宽业务体验保障为例，传统方式下，缺乏家宽体验度量和分析方法，90% 以上的质差问题靠用户报障发现，90% 的问题靠装维工程师上门排查。而家宽体验保障智能体 AssurSpirit 通过创新引入 CEI 模型，对全网家宽体验进行量化评分与排序，识别出 TOP 质差用户；然后对识别出的质差用

户，基于内置的家宽场景故障知识图谱，自动定位 30+ 典型场景的问题根因及生成优化建议，并对如 Wi-Fi 信道干扰等配置类问题实现在线远程自动调优，硬件类问题赋能 FMECopilot 装维助手，以指导装维工程师备齐相关物料和作业工具，实现一次性上门高效闭环处理及业务随销，保障用户体验。

8.2 华为 ADN 商用案例

华为 ADN 围绕网络维护、网络优化、业务运营三大维度的高价值场景，联合业界领先通信运营商，开展了系列化的商用实践，实现运维降本增效与用户体验的提升。例如：

1. 中国移动

中国移动锚定“世界一流信息服务科技创新公司”发展定位，携手产业伙伴全力构建高阶自智网络，推进网络运营数智化转型。作为中国移动在自智网络领域的战略合作伙伴，华为始终全力支持中国移动的创新实践。中国移动自智网络负责人姚远表示：“中国移动联合华为打造的《基于网络大模型的自智网络运维中心（Dark NOC）》方案，聚焦核心网 / 无线 / 传输故障处理、家宽 / 核心网投诉处理等高价值场景，加速推进网络与 AI 技术的融合创新，开发出系列化智能体，并将其融入现场作业流程，实现了端到端流程

全自动、少人、无人的极简运维，显著提升了网络质量、生产效率和运营效益”。如下以其部分案例实践进行分享：

- **核心网投诉处理：**核心网投诉处理智能体自动完成对投诉问题的分类识别、问题界定、信令根因分析和处理结果摘要生成，并融入浙江移动端到端投诉处理流程，实现投诉处理流程前移率从 5% 提升到 75%，投诉工单端到端处理时长缩短 65%，等效新增 30+ 名经验丰富的数字员工。
- **传输故障处理：**引入故障智能体和 NOC、FME Copilot 智能助手并融入广东移动故障处理流程，显著提升了故障识别、诊断到修复的端到端自动化水平。当前，超过 40% 以上的软调类故障自动修复，非软调类问题也在智能助手辅助下实现高效闭环，实现故障工单自动化率由 60% 提升

09 自智网络智能体未来展望

可以预见，作为推动自智网络迈向 L4 高阶自治的核心引擎，自智网络智能体将在未来 5~10 年持续成为产业创新与商业落地转化的核心热点。当前，不同厂商围绕自智网络智能体的软件实现与部署方案，正形成多元化技术路线，但同时也需直面全栈技术整合、场景落地适配、成本与效能平衡等多重考验。唯有精准匹配网络实际需求、实现软件与部署方案的高

效协同，并具备持续迭代优化能力的厂商，方能在激烈竞争中突围，最终实现规模化商用。

在技术迭代与商业演进交织提速的进程中，面向通信网络的整网自治业务诉求，以及支撑智能体融入现实网络环境的世界模型等前沿技术发展，将为自智网络智能体的长远演进注入关键动力，同时深刻影响其技术路线与商业价值的最终走向。

9.1 自智网络从场景自治走向整网自治

自智网络快速发展，向着 L5 整网自治不断迈进。我们认为，当前正处于分阶段推进 L4 的关键阶段，可概括为从“高价值场景自治”迈向“单域网络自治”的两步演进。

阶段一：高价值场景自治 —— 价值驱动，能力积累

在这一阶段，重点在于通过单域自治能力解决网络运行中的关键问题。典型实践包括数通故障 Agent、无线优化 Agent，以及面向特定用户体验问题的家宽投诉 Agent 等。这些自治体能够在相对独立的场景中实现端到端闭环，带来效率提升与价值量化落地。更重要的是，这一阶段的建设沉淀了方法、数据与能力模块，为后续的跨域整合和整网自治奠定了坚实基础。

阶段二：单域网络自治 —— 架构重构，智能协同

随着高价值场景自治的成熟，下一阶段的目标是通过跨场景、跨域的能力融合，推动单域网络自治。例如，在无线领域，一个综合型智能体可同时涵盖故障诊断、性能优化与能效管理，并在内部实现任务协同与冲突消解。这种架构不仅提升了网络自治的完整性，也使自治决策能够兼顾性能、能耗、稳定性与安全等多维目标，形成系统级的最优。

从高价值场景自治走向单域网络自治，是自智网络 L4 的必经之路。对运营商而言，这一演进路径能够逐步释放网络的全局价值，从单点降本增效迈向整体能力变现。对产业而言，它推动了体系架构的统一与能力的沉淀，加速了自智网络商业模式的形成。未来随着场景自治的广泛部署与多智能体协同机制的逐步成熟，网络有望实现从局部自治到整体自治的跨越。单域网络自治将成为高阶自智网络的核心标志，也是推动运营商实现全局智能化转型的战略路径。

9.2 迈向世界模型的通信大模型

通信大模型未来发展的最重要方向是世界模型。认知网络世界、理解网络规律、遵循网络常识，可以增强通信大模型的自主性和泛化性。

自主性包括自主规划行动和自主学习进化。大模型将可以动态存储网络态势图、用户行动轨迹等关键数据，提升自主行动能力。自主学习进化的就是实现智能体模型的循环自进化，智能体依据真实世界反馈，经在线迭代寻优完成进化。

泛化性包括能力内化、复杂编程、多模态交互、环境学习等。能力内化，尤其需要规划行动能力内化到大模型中。行动能力强化的重要特征是大模型的任

务方案级复杂编程能力提升，这将极大提升大模型的行动执行力和能力边界。多模态交互能力强化将拓宽大模型的外部交互界面，图像、语言、代码、时序等多种网络模态数据统一表征，大模型的智能交互能力将升级适配整网自治的能力需求。环境交互学习实现在线探索与知识转化，实现大模型经验自积累。

增强通信大模型的自主性和泛化性、将让通信大模型从行动执行者向解决方案组织者升级进化，支撑智能体具备主动探索世界能力，具备主动与环境交互、从交互中学习进化能力，向“世界模型”进化的大模型将让智能体融入现实网络世界，遵循规则，为人服务。

结语

当前，通信行业智能化转型正处于“实践催熟价值”的关键阶段：谁先在智能体上扎下根、投下力，谁就能率先将技术优势转化为网络效率的提升、客户体验的优化、运营成本的降低。试想，当智能体实现基站能耗的动态调节，每一度电的节省都是利润增长的底气；当智能体将故障诊断时长压缩至分钟级，每一次高效响应都是品牌信任的积累；当智能体精准洞察客户需求、提前化解潜在不满，每一份满意度的提升都是市场竞争的壁垒。这些不是遥远的想象，而是持续投入智能体就能触达的现实。

领先运营商的使命，从来不是跟随行业，而是定义行业。此刻对智能体的坚定投入，不仅是为自身搭建“技术护城河”，更是在为整个通信产业探索智能化的路径、催熟 AI 应用的生态。唯有主动布局、持续实践，才能在未来的智能时代里，既成为技术变革的“先行者”，也成为价值创造的“引领者”——这既是机遇，更是责任。