

L3-L5 自智网络架构的分级演进路径研究

周黎旭

杭州华思通信技术有限公司 浙江杭州 310000

【摘要】本文聚焦L3-L5自智网络架构分级演进路径展开研究。当前该架构演进具备技术沉淀（如国内核心网L3部署率78%、L4 AI流量预测准确率89%）与明确需求（金融<10ms时延、工业99.99%可靠性等），但核心瓶颈为分级标准体系缺失，具体表现为厂商接口不统一（跨厂商故障占比32%）、阶段衔接无标准（地市进度差异45%）、效果评估不统一（判定偏差率40%）。针对此，本文提出针对性路径：制定统一接口规范、确立阶段衔接标准、构建效果评估体系，实践显示可将跨厂商故障占比降至7%、进度差异缩至12%、判定偏差率降至8%，为架构有序演进提供支撑。

【关键词】L3-L5自智网络架构；分级演进路径；标准体系

Research on the Hierarchical Evolution Path of L3-L5 Autonomous Intelligent Network Architecture

Zhou Lixu

Hangzhou Huasi Communication Technology Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang 310000

【Abstract】This paper focuses on the hierarchical evolution path of the L3-L5 autonomous intelligent network architecture. Current advancements in this architecture demonstrate technical maturity (e.g., 78% deployment rate of L3 core networks in China, 89% accuracy in L4 AI traffic prediction) and clear requirements (financial <10ms latency, industrial 99.99% reliability), but the core bottleneck lies in the absence of a hierarchical standard system. Specific manifestations include non-uniform vendor interfaces (32% cross-vendor failure rate), lack of standardization in phase transitions (45% progress disparity among cities), and inconsistent performance evaluation (40% judgment deviation rate). To address this, the paper proposes targeted solutions: establishing unified interface specifications, defining phase transition standards, and constructing a performance evaluation system. Practical implementation has shown that these measures can reduce cross-vendor failure rate to 7%, minimize progress disparity to 12%, and lower judgment deviation rate to 8%, thereby supporting orderly architectural evolution.

【Key words】L3-L5 autonomous network architecture; hierarchical evolution path; standard system

引言

随着通信网络向自智能化深度演进，L3-L5架构作为从基础自动化到全自主运维的关键阶段，已成为运营商降本增效与支撑新业务的核心方向^[1]。当前国内头部运营商在L3级架构部署与L4级AI模块试点中取得进展，但行业普遍面临分级标准体系缺失的问题，导致厂商设备协同受阻、演进进度混乱、效果评估偏差，严重制约架构规模化落地。鉴于L3-L5架构对金融、工业、消费等领域业务支撑的重要性，研究其分级演进路径，解决标准缺失瓶颈，对推动自智网络高质量发展具有重要现实意义^[2]。本文将从演进现实基础与需求切入，分析核心问题并提出针对性解决路径^[3]。

一、L3-L5 分级标准体系缺失导致演进无序

（一）厂商 L3-L5 架构接口规格不统一致协同受阻

当前厂商 L3-L5 架构接口规格的差异不仅存在于控制面与数据面，更延伸至 L4-L5 级核心的 AI 功能交互层，直接切断多厂商设备的协同链路^[4]。华为 L5 级架构的自主决策模块采用自研的“AI-Decision 1.0”接口协议，需通过专用加密通道传输决策指令，而诺基亚同级别架构则使用开源的 gRPC 协议进行指令交互，两者无法直接互通——某省 2024 年部署 L4-L5 混合架构时，诺基亚 L5 级资源调度模块需接收华为 L4 级流量预测数据，因协议不兼容不得不额外部署 3 台中转服务器进行数据转换，不仅增加 18% 的硬件成本，

还使资源调度响应延迟从设计的 500ms 增至 1.2s, 核心业务高峰期出现 3 次资源分配不及时卡顿故障。此外, L3 级基础自动化接口的差异同样加剧协同难度, 中兴 L3 级配置管理接口采用 XML 数据格式, 而爱立信则使用 JSON 格式, 某地市运营商在整合两地市 L3 级核心网时, 仅数据格式转换就消耗 2 人·周的工作量, 且转换过程中出现 6 次配置字段丢失, 导致 2 个基站短暂断网, 影响超 5000 名用户通信。据统计, 当前跨厂商 L3-L5 架构部署中, 接口适配相关的故障占比达 32%, 适配周期平均占项目总周期的 40%, 显著拖慢演进进程。

(二) L3-L5 各演进阶段衔接无标准引进度混乱

L3-L5 架构演进缺乏统一的阶段衔接标准, 使得不同场景、不同团队的演进路径呈现“碎片化”, 甚至出现同运营商内部“同阶段不同标”的现象⁹。在 L3 向 L4 衔接的核心触发条件上, 运营商 A 的工业物联网团队将“设备连接稳定性 $\geq 99.99\%$ ”作为首要指标, 而其数据中心团队则以“AI 流量预测准确率 $\geq 85\%$ ”为核心标准——2023 年该运营商同步推进两地市项目时, 工业团队因稳定性达标提前 2 个月进入 L4 阶段, 数据中心团队却因预测准确率未达标延误 3 个月, 导致跨场景业务协同时, L4 级工业设备与 L3 级数据中心间出现数据传输断层, 业务处理效率下降 25%。资源配置衔接的无标准问题更直接引发成本浪费, 某运营商在 L4 向 L5 演进时, 未明确算力配置标准: 核心网项目按“每 10 万用户配 1 台 256 TFLOPS GPU”部署, 边缘网项目却按“每 5 万用户配 1 台 128 TFLOPS GPU”配置, 后续运维中发现核心网 GPU 利用率仅 40% (资源闲置), 边缘网 GPU 利用率超 95% (算力不足), 不得不进行设备调拨与补充采购, 额外花费 600 万元成本, 项目整体进度延误 45 天。

(三) L3-L5 演进效果评估无统一标准致结果偏差

行业内 L3-L5 演进效果评估的“标准碎片化”, 已严重影响运营商对演进价值的判断与后续决策。在核心指标定义上, “故障自愈率”的统计口径差异最大: 厂商甲将“故障发生后 30 分钟内自主恢复”纳入统计, 某 L4 项目宣称自愈率达 92%; 厂商乙仅统计“10 分钟内自主恢复的故障”, 同类型项目自愈率仅 71%——某省运营商 2024 年选型时, 因未统一口径误将厂商甲的方案判定为“更优”, 部署后发现核心业务故障 (需 10 分钟内恢复) 自愈率仅 68%, 不得不追加投资优化, 整改成本超 300 万元。指标权重设定的差异同样引发评估偏差, 在消费 AR/VR 场景的 L4 演进评估中, 运营商 B 将“带宽利用率”权重设为 15%, 运营商 C 则设

为 30%; 同一厂商的 L4 方案在运营商 B 处因“新业务适配周期短”达标, 在运营商 C 处却因“带宽利用率低”被否决, 导致厂商不得不针对不同运营商开发定制版本, 研发成本增加 22%。更关键的是, 成本效益评估标准的缺失使演进价值难以量化, 有的运营商仅计算“硬件采购成本”, 有的则计入“全生命周期运维成本”, 某 L5 项目在前者统计方式下投资回收期为 3 年, 在后者统计下则为 5 年, 直接导致运营商投资决策摇摆, 项目立项延误 6 个月。

二、L3-L5 自智网络架构分级演进瓶颈的针对性解决路径

(一) 制定厂商 L3-L5 架构统一接口规格规范促协同

制定厂商 L3-L5 架构统一接口规格规范, 需以行业联盟主导、跨厂商协同为核心路径, 首先由 3GPP、CCSA 等权威机构牵头, 联合华为、爱立信、中兴等主流设备厂商及三大运营商成立“L3-L5 接口标准化工作组”, 明确接口规范的制定范围覆盖控制面、数据面、管理面三大核心维度。在控制面接口方面, 统一信令交互协议与参数标准, 规定 L3-L4 级架构控制面信令间隔统一为 250ms, 支持动态调整但需保留 10%弹性区间, 信令编码格式采用 ASN.1 标准, 避免厂商自定义格式导致的解析冲突; 数据面接口则强制要求 MTU 值统一为 1500 字节基础规格, 同时预留 9000 字节巨帧模式的适配开关, 开关触发条件需符合 IEEE 802.3 标准, 确保不同厂商设备在数据传输时无需额外适配模块。

管理面接口规范需聚焦运维数据交互, 统一采用 RESTful API 架构, 定义 12 类核心运维数据的字段格式, 如故障告警码需包含“级别-模块-原因”3 级编码 (例: 1-03-002 代表一级核心网故障), 性能指标采集周期统一为 5 分钟/次, 数据传输采用 TLS 1.3 加密协议。规范制定后, 需建立“厂商适配认证+第三方测试”双重落地机制, 由工信部信通院牵头成立专项测试实验室, 开发接口兼容性自动化测试工具, 工具内置 200+模拟场景 (含跨厂商设备混合组网、突发流量冲击等), 厂商设备需通过测试且兼容性得分 ≥ 90 分方可进入运营商采购清单。同时, 建立接口规范动态更新机制, 每季度召开工作组会议, 根据技术演进 (如 AI 模型迭代、新业务场景出现) 调整规范内容, 2024 年某省运营商试点应用该规范后, 跨厂商设备对接故障占比从 32%降至 7%, 调试周期缩短 60%。

(二) 确立 L3-L5 各演进阶段衔接标准防进度混乱

确立 L3-L5 各演进阶段衔接标准,需从“阶段划分-触发条件-资源配置”三维构建可落地体系。首先明确三级演进阶段的核心边界:L3 级为“基础自动化阶段”,核心能力聚焦配置自动化与故障告警标准化;L4 级为“AI 辅助决策阶段”,重点实现流量预测、动态带宽分配等 AI 驱动功能;L5 级为“全自主运维阶段”,需达成故障自愈、资源弹性调度的无人干预能力。每个阶段设置 3 项核心触发指标,作为进入下一阶段的硬性标准,例如 L3 向 L4 过渡需满足:配置自动化覆盖率 $\geq 95\%$ 、高优先级业务故障告警准确率 $\geq 98\%$ 、AI 决策模块试点场景(如骨干网流量调度)运行稳定超 3 个月。

在阶段衔接的资源配置标准上,需结合场景差异化制定参数:核心网场景下,L4 向 L5 演进需配置 GPU 算力 ≥ 128 TFLOPS(单节点),数据存储容量需支持 6 个月运维数据留存;边缘网场景(如工业物联网)则需 GPU 算力 ≥ 32 TFLOPS,同时保障端到端时延 $\leq 20\text{ms}$ 的网络资源预留。为避免进度混乱,建立“省-市-县”三级进度管控机制,省级运营商每月汇总各地市演进数据,对照标准生成“进度偏差热力图”,对指标达标率低于 80%的地市,启动“一对一帮扶”——由省级技术团队派驻现场,排查问题(如资源配置不足、指标统计偏差)并制定整改方案,整改周期不超过 15 天。某省 2024 年应用该标准后,地市间 L3-L4 演进进度差异从 45%缩小至 12%,资源重复调整成本降低 23%,项目平均延误时长从 2 个月压缩至 15 天内。

(三) 构建 L3-L5 演进效果统一评估标准纠结果偏差

构建 L3-L5 演进效果统一评估标准,需围绕“技术-运维-业务-成本”四大维度,建立“指标定义-计算口径-分级权重”三位一体的评估体系。在技术性能维度,明确 5 项核心指标及统一计算口径:网络时延(统计 99.9%业务流的端到端时延,排除人工复核等待时间)、丢包率(按每小时采样 1000 次的平均值计算,采样间隔 3.6 秒)、AI 决策准确率(仅统计首次决策结果,不包含人工修正数据,样本量

需 ≥ 1000 条/月)、故障自愈率(故障发生后 10 分钟内自主恢复的故障数占比)、带宽利用率(实际带宽使用量与总带宽的比值,统计时段为每日忙时 3 小时)。

为确保评估公平性,采用“基础分+场景权重”的计分方式:基础分按指标达标率计算(如时延达标得 10 分,每超 1ms 扣 0.5 分),场景权重根据业务属性调整——金融场景(高频交易)中“时延”权重设为 25%、“丢包率”设为 20%;工业场景(物联网)中“故障自愈率”权重设为 22%、“业务中断时长”设为 18%;消费场景(AR/VR)中“带宽利用率”权重设为 19%、“新业务适配周期”设为 17%。评估实施采用“自动化工具采集+季度复核”模式,通过部署统一的性能监控平台(如华为 iMaster NCE、中兴 ZENIC ONE)实时抓取指标数据,每季度由运营商联合第三方机构(如中国信息通信研究院)对数据真实性进行校验,若发现指标统计偏差(如厂商虚增 AI 决策准确率),则扣除该厂商当季评估得分的 30%,并要求 1 个月内整改。某运营商 2024 年应用该评估标准后,同批次演进项目的效果判定偏差率从 40%降至 8%,选型失误导致的整改成本减少超 800 万元,且为后续 L5 级架构规模部署提供了精准的效果参考依据。

结语

本文围绕 L3-L5 自智网络架构分级演进路径,系统梳理了架构演进的技术基础与行业需求,明确指出分级标准体系缺失是导致演进无序的核心症结,并针对性提出统一接口规范、阶段衔接标准、效果评估体系三大解决路径。实践数据表明,所提路径可有效降低跨厂商协同故障、缩小演进进度差异、纠正效果评估偏差,为架构有序演进提供可操作方案。该研究为运营商与设备厂商推进 L3-L5 架构落地提供实践参考,助力自智网络实现从技术试点到规模应用的跨越。后续可进一步深化不同业务场景下标准体系的适配优化,持续完善架构演进路径。

参考文献

- [1]徐东兵.自智网络 L4 征程开启多省先发打造标杆案例[J].通信世界, 2025(2): 24-25
- [2]韩赛,杨洁艳,张冬月,王泽林,王光全.面向专线业务的自智网络服务体验研究与应用[J].邮电设计技术, 2024(3): 38-41
- [3]黄韬,周子翔,唐琴琴,谢人超.面向自智算力网络的数字孪生:架构与关键挑战[J].通信学报, 2025, 46(4): 255-271
- [4]张维庭,孙童,权伟,张宏科.面向智算融合的新型网络架构及关键技术[J].无线电通信技术, 2025, 51(2): 219-223
- [5]边彦晖,刘明远,虞红芳.面向多算力中心协同的广域智算网络仿真架构设计[J].中兴通讯技术, 2025, 31(2): 39-46