

基于多智能体的云网融合编排与 调度研究

Research on Orchestrator and Scheduler for Cloud-Network Convergence Based on Multi-Agents

殷 炜(杭州东方通信软件技术有限公司上海分公司,上海 200030)

Yin Wei(Hangzhou Eastcom Software Technology Co.,Ltd. Shanghai Branch,Shanghai 200030,China)

摘 要:

在分析传统云网融合编排与调度方案基础上,提出一种由大语言模型(Large Language Models, LLMs)驱动,基于 8×4 多智能体的新型云网融合编排与调度架构,分析了多智能体的组成、技术选型、系统架构、设计方案和演进路线,最后对应用智能体可能遇到的问题 and 挑战进行了分析,并提出相关建议。

关键词:

云网融合;多智能体;大语言模型;编排;调度
doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2025.04.005
文章编号:1007-3043(2025)04-0025-07
中图分类号:TN915
文献标识码:A
开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

On the basis of analyzing the current situation and solution of existing cloud-network orchestrator and scheduler, it propose a new cloud-network integration orchestration and scheduling architecture driven by large language models (Large Language Models, LLMs) and based on 8×4 Multi-Agents. Furthermore, it presents the components, technology selection, architecture, design and evolution routes of the proposed scheme. Finally, it analyzes the problems and challenges that may be encountered when applying intelligent agents, and proposes related suggestions.

Keywords:

Cloud-network convergence; Multi-agents; Large language models; Orchestrator; Scheduler

引用格式:殷炜. 基于多智能体的云网融合编排与调度研究[J]. 邮电设计技术,2025(4):25-31.

1 概述

国家东数西算、数字中国、双碳政策的出台以及边缘计算、SDN、NFV、云原生等技术的快速发展,对多元异构云和网络协同提出了更高的要求。在这种趋势下,云网融合的目标是构建云和网络深度融合的新型泛在一体化基础设施,向用户提供触手可及的云网融合服务。跨域编排和调度作为大脑和中枢神经,在云网融合发展过程中发挥着重要作用。本文首先分析了传统云网融合编排与调度研究现状,提出一种由大语言模型(Large Language Models, LLMs)驱动、基于

多智能体的架构,随后对多智能体进行设计,最后对应用智能体可能遇到的问题 and 挑战进行了分析,并给出相关建议。

2 云网融合编排与调度架构研究现状

行业内现有产品以可视化蓝图设计、意图驱动2条技术路线为主。可视化蓝图设计采用分层解耦和端到端可视化设计的建模思路,基于低代码开发和可视化配置技术,实现云网资源、业务流程、规则策略和API服务的灵活设计,支撑云和网络基础设施向业务需求驱动的积木式组装转变,满足敏捷加载、全程可配、自动编排和跨域调度要求。意图驱动引入自然语言处理(NLP)、意图引擎技术,将用户对云网资源的需

收稿日期:2025-02-12

求转译为对网络和云的配置与调度策略,并自动进行验证和下发执行^[1-8]。

可视化蓝图设计是基于开放网络自动化平台(ONAP)提出的设计态与运行态分离以及模型驱动理念,目前已成为电信运营商网络编排和调度事实上的主流标准。借助可视化编排工具虽然可以实现业务流程的敏捷加载,跨域、跨专业和跨厂商的云网资源协同调度,缩短云网业务开通时长,但仍需依赖网络、云、IT专业人士积累的经验进行业务设计和流程配置,阻碍了云和网络朝着超融合、智能化、自动化方向进一步发展。意图驱动基于自然语言处理(NLP)技术实现对用户意图的获取、解析,并将其转译为网络和云侧配置策略,当前的研究和技术方案多聚焦于对用户意图的理解,缺乏对具体实现方案和路径的研究。

AI大模型时代的到来,推动了智能体相关研究和应用的快速发展。将智能体引入云网融合编排与调度架构,借助大语言模型,通过任务规划和调用工具逐步完成云网融合业务的编排和跨域资源调度。

3 基于多智能体的云网融合编排与调度研究

3.1 智能体概述

智能体是以大语言模型为核心,融合规划、记忆和工具等技术和手段,实现任务的自动化处理^[9]。从工作模式来看,智能体可以分为单智能体、多智能体和混合智能体。单智能体只有一个智能体进行感知、学习和行动,独立与环境交互,根据环境反馈优化下一步行动策略以实现预期目标,适用于机器人控制、订酒店、查天气等单一任务。多智能体是一种特殊的智能体,每个智能体都有自己的感知、决策和行动能力,并与其他智能体进行交互协作和信息共享,共同实现复杂的目标,适用于软件开发、智慧交通、智能制造、自智网络等逻辑复杂且稳定性要求高的任务。混合智能体是由智能体和人类共同参与决策过程,强调人机协作的重要性和互补性,适用于智慧医疗等高可靠、高精度任务。

云网融合业务逻辑复杂、管理规模庞大,超出了单个智能体的处理能力和速度,更适合将不同任务分配给不同专业和特长的智能体,通过多智能体协作完成复杂任务,提升云网融合业务编排与调度的效率和质量。

3.2 业务场景分析

在对智能体进行设计时,除了参考行业内 Agent

设计框架,还需要结合业务,以传统云网融合业务开通为例,其典型流程如图 1 所示。

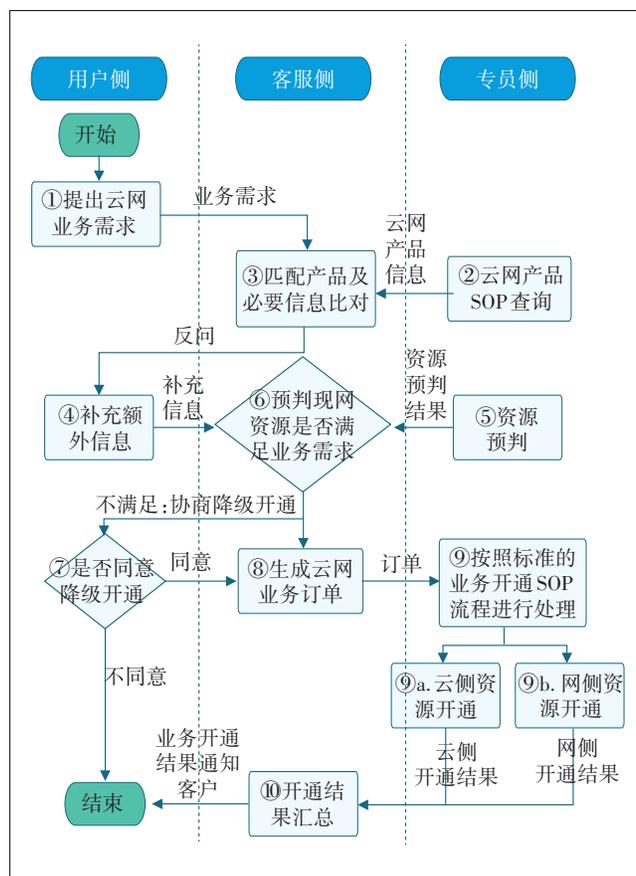


图 1 传统云网融合业务开通流程

传统云网融合业务开通流程一般包括如下步骤:需求识别、调用 SOP 工具(云网产品)、反问客户获取必要信息、调用 SOP 工具(资源预判)、生成工单、调用 SOP 工具(云网业务开通)、查询 SOP 工具执行结果(开通结果)、根据执行结果回复客户。

基于上述开通步骤,抽象出基于大模型的云网融合业务开通流程如图 2 所示。

3.3 多智能体框架分析与选型

根据部署方式和使用场景的不同,主流多智能体开发框架包括 PaaS 平台、 workflow 平台、原生开发框架 3 种类型。

a) PaaS 平台。面向无代码或少量代码基础的人员,开发者利用可视化设计和工作流编排工具快速构建多智能体应用,通过调用外部能力实现相对复杂的任务。代表平台有字节 Coze、百度文心智能体平台、腾讯元器、讯飞星火企业智能体平台等。

b) 工作流平台。面向 B 端客户提供高度定制化

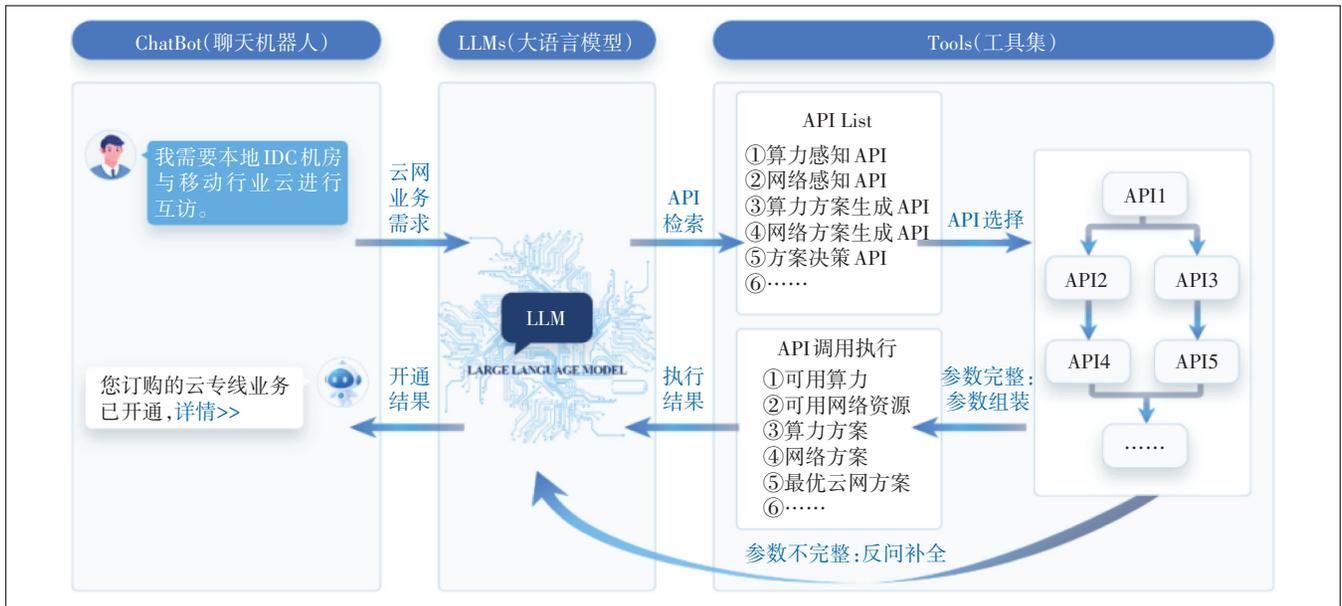


图2 基于大模型的云网融合业务开通流程

的工作流引擎,开发者根据企业实际业务生产需求进行定制化开发,以满足本地数据安全和隐私保护要求。代表平台有 Dify、FastGPT 等。

c) 原生开发框架。面向具备较高代码基础的研发人员,开发者可以直接访问和控制底层的软硬件资源,实现更高的计算性能和响应速度。代表平台有 AutoGen、AutoAgents、MetaGPT、CrewAI、XAgent、Chat-Dev、LangChain、LlamaIndex 等。

运营商云网融合业务对系统功能和性能的要求较高,需要系统持续稳定迭代和更新,原生开发框架是构建此类多智能体的首选工具,其提供了对底层云网资源的直接控制和业务流程的高度定制能力,能够实现用户业务需求与云网资源的精准匹配。本研究基于 XAgent 框架和阿里云开源模型 Qwen2-72B 创建一个智能体生态系统,这些智能体专门从事云网融合编排与调度中的感知、方案、仿真、调度等任务并相互协作,通过访问外部工具以执行云网融合任务。在设计层面上,XAgent 框架具备很强的自助性、安全性、扩展性和交互性。

3.4 新型云网融合编排与调度平台架构

如图 3 所示,基于多智能体的云网融合编排与调度平台包括云网运营层、智能代理层、工具能力层、云网控制层和基础设施层,其中云网运营层、智能代理层和工具能力层为本平台建设内容。

云网运营层面向用户提供基于人机对话的需求交互和沟通入口。基于真实槽位分布和构建类似的

对话记录语料库对大语言模型(Qwen2-72B)进行微调来学习云网融合领域对话的特定上下文,使其更好地理解 and 生成与本次对话相关的回复,提升模型预测准确率和业务需求的完整性。通过注意力机制,让模型在进行多轮对话时专注于当前对话相关的上下文信息,更准确把握用户的真实意图。利用深度学习算法使用历史对话记录来识别当前对话的业务类型和领域,有效指导后续的任务规划和工具使用。

智能代理层向上对接云网运营层,通过会话和提示词管理支持与用户进行自然语言交互以形成完整的云网业务需求,通过向量检索补充大语言模型缺失的数据和信息,在设计中心的辅助下将用户云网业务需求分解到感知、方案、仿真和调度等子任务,并通过工具调用实现云网融合业务的智能编排和跨域资源自动调度。

工具能力层向上提供设计中心和工具集以支撑大语言模型、智能体中缺失的业务数据、知识和能力,以提升云网业务编排和调度效率及质量。设计中心通过可视化设计工具将专家经验和业务知识进行结构化沉淀,输出领域 PDDL、问题 PDDL、编排包等文件,为大语言模型、多智能体提供外部规划辅助。工具集分为数据库类、API 调用类、内容生成类和代码生成类。数据库类用于生成 SQL 代码查询云网实时运行数据,适合算力、网络感知任务。API 调用类用于生成参数调用云网服务接口来完成云网资源开通、配置和变更等操作,适用于算力、网络调度任务。内容生成类用于根

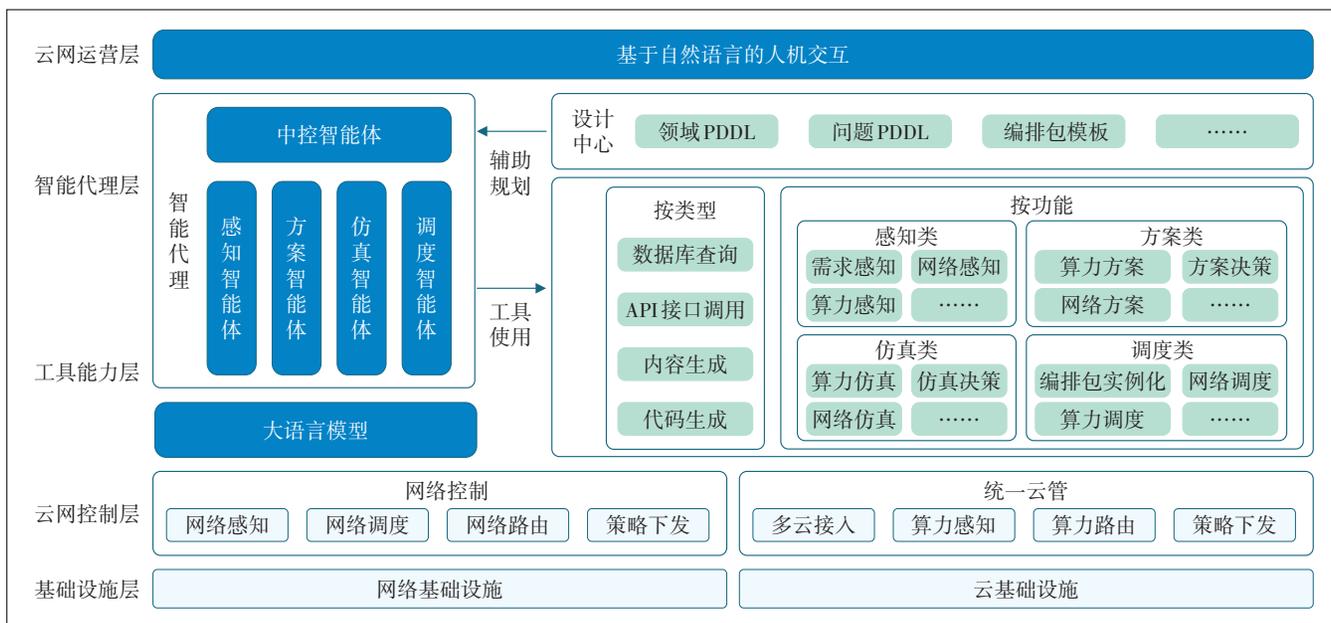


图3 基于多智能体的云网融合编排与调度平台架构

据用户需求生成内容,适合算力方案生成、网络方案生成等任务。代码生成类适合现有工具不能满足智能代理层的要求,需要编写代码完成指定功能的任务。

3.5 多智能体设计

3.5.1 智能体设计

本研究设计了中控、感知、方案、仿真及调度共5个智能体。中控智能体充当领导角色,负责将云网融合的复杂问题拆解出多个需要分别执行的里程碑任务,分配给其他4个智能体协作完成。感知、方案、仿真和调度智能体在任务执行过程中前后依赖,工作输出内容依次传递,最后传递回中控智能体进行决策,判断任务是否完成、优化调整还是推翻重做。其协作关系如图4所示。多智能体的角色、目标、输入和输出设计如表1所示。

3.5.2 智能体通信设计

本研究从通信范式、通信结构、协商模型、通信协议等4个方面对智能体通信进行设计。

a) 通信范式。智能体之间主要有合作、辩论和竞争3种通信范式。本研究采用合作方式,5个智能体共同努力实现云网融合业务的开通目标,通过交换信息来增强整体解决方案。

b) 通信结构。智能体之间通信主要有分层、层级、集中式和去中心化通信4种通信结构。本研究采用层级通信结构,第1层为中控智能体,负责协调其他智能体共同支撑云网融合业务开通,第2层为感知、方案、仿真和调度智能体,负责云网融合业务开通任务的具体执行。

c) 协商模型。通过对多Agent协商模型的分析,

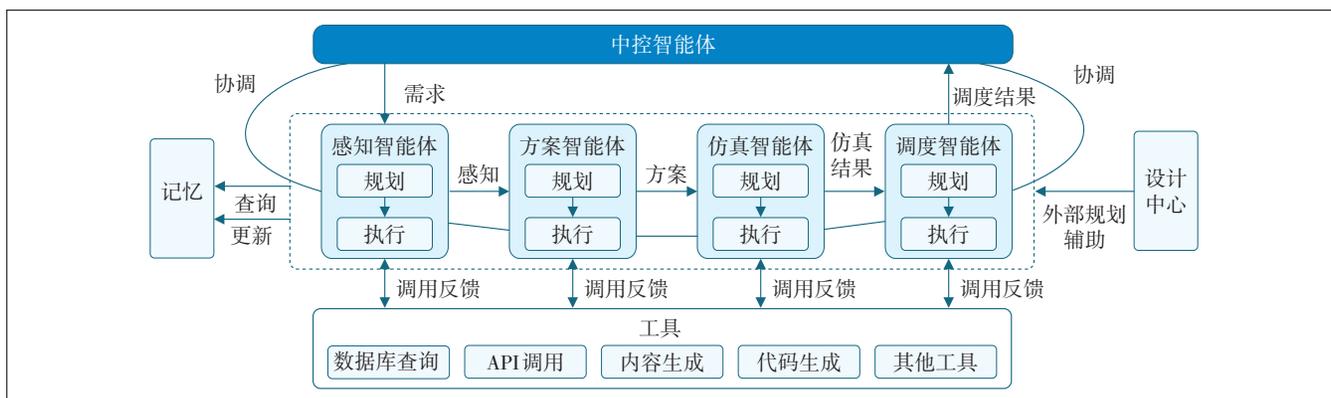


图4 多智能体协作关系

表1 多智能体的角色、目标、输入和输出设计

| 智能体 | 目标 | 输入 | 输出 |
|-------|-------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| 中控智能体 | 协调云网感知、方案、仿真、调度4个智能体共同支撑云网业务编排与调度任务 | 云网业务需求 | 云网感知、方案、仿真和调度等子任务 云网调度结果 |
| 感知智能体 | 感知云网业务需求、云和网络运行态势 | 云网业务需求 云网运行数据 | 需求感知 云网感知 |
| 方案智能体 | 提供最优算力资源和网络路径 | 需求感知 云网感知 外部辅助规划 | 云网方案 降级配置建议 |
| 仿真智能体 | 降低错误配置对现网的影响 | 云网方案 云网感知 | 仿真结果 降级配置建议 |
| 调度智能体 | 提升云和网络自动化开通效率 | 云网方案 降级配置建议 外部辅助规划 | 云网调度结果 |

多个智能体之间需要设计有效的通信和信息共享机制,以便相互了解彼此的状态、意图和行动计划。多智能体协商模型如图5所示。

d) 通信协议。本研究遵循FIPA智能体建模规范,统一描述内部消息的传输及内容语言的语法和语义。

3.5.3 级联式任务分解

在多智能体系统中,任务分解是一项关键技术,将复杂任务分解为简单的子任务,使每个智能体能高效协作。考虑到云网融合编排和调度各阶段、环节具有严格的上下游关系,本研究采用级联式任务分解技术,中控智能体利用全局规划机制来分析整体任务,根据外部规划辅助和各智能体的专业知识及能力将

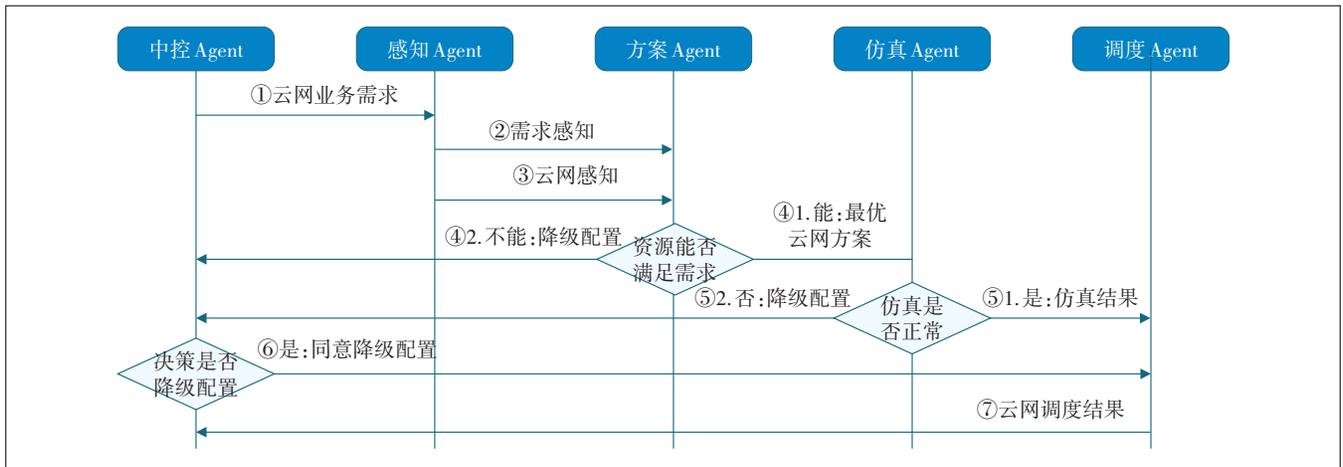


图5 多智能体协商模型

其分解为里程碑任务,并使用通信协议促进智能体之间的信息交换和协调,确保与总体目标一致。其他智能体基于LLM提示工程完成领域内的子任务规划和执行,并将中间结果传递给下一个智能体或中控智能体,这种分解方案能确保任务的按序完成和结果的有效传递(见图6)。

3.5.3.1 外部规划辅助

LLMs将多轮对话形成的完整云网业务需求转化为问题的规划领域定义语言(Planning Domain Description Language, PDDL)编写的文件,然后匹配专家输入的领域描述快速找到可行的解决方案,输出分解的里程碑任务清单,LLMs+P的流程如图7所示。该方法本质上将规划外包给设计中心,是初期采用的技术,随着智能体与云网融合的深度结合,将逐步过渡到思维链、思维树等方法。

问题PDDL描述了一个具体的云网业务需求,包

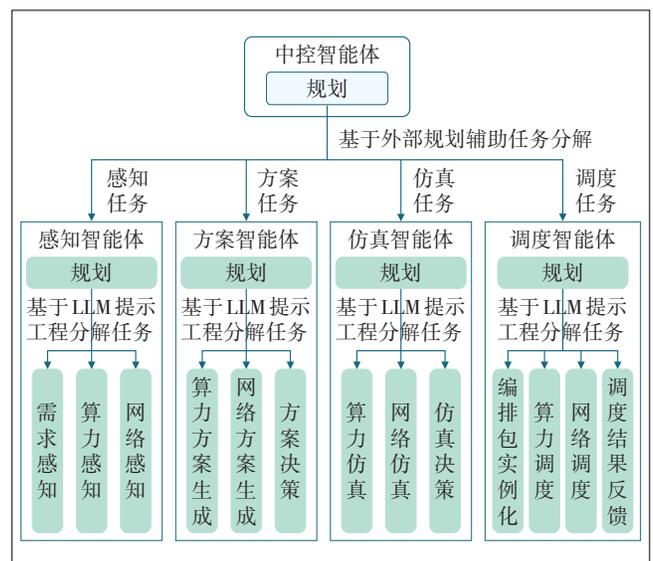


图6 级联式任务分解

括初始状态和期望目标状态。领域PDDL定义了可能

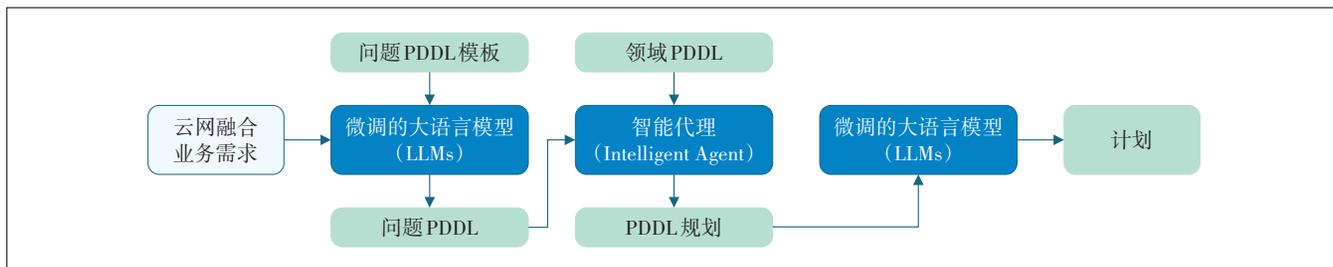


图7 LLMs+P 规划流程

的动作和效果,通过一系列动作和流程的执行实现期望目标,包括云网融合领域的上下文、对象属性及细节描述、动作及操作,问题和领域PDDL的结构如图8所示。

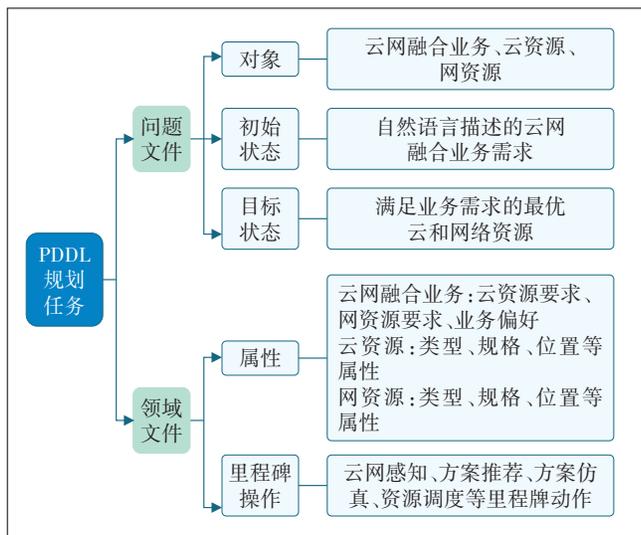


图8 问题和领域PDDL的结构

3.5.3.2 提示工程

提示工程是一种通过设计特定的输入提示来引导模型生成期望输出的技术,具体可分为零样本提示 (Zero-Shot)、少样本提示 (Few-Shot)、CoT 思维链、Least-to-Most 任务分解等方法。本研究中感知、方案、仿真和调度智能体采用 Least-to-Most 方法进行里程碑任务的规划和分解。

Least-to-Most 方法采用自顶向下的问题分解策略,首先将问题一次性分解成若干个子问题,之后逐个解决,从而完成整个任务。该方法与 CoT 思维链类似,区别在于任务分解会进行多轮问答,并逐步填充问题的上下文,降低复杂多步推理问题的难度。

该方法主要包括问题分解和子问题解决2个阶段。在问题分解阶段,需要将[原始问题,子问题列表]和当前要解决的问题输入大语言模型;在子问题

解决阶段,需要将[原始问题,(子问题,子问题答案)]及当前要解决的问题和子问题输入大语言模型。

3.5.4 多智能体强化学习

本研究中的5个智能体之间是合作关系,共同支撑云网融合业务的跨域资源调度任务,即任务目标的达成与各智能体行为组合得到的联合行为相关,所以对各智能体的策略学习需要考虑联合动作效应。选择基于 Multi-Agent Q-learning 算法进行训练,每个智能体都有自己的策略和价值函数,它表示在给定状态下采取某个行动的长期回报。每个智能体通过观察环境的状态和其他智能体的行动来更新自己的Q值函数,从而学习最优策略。核心步骤如图9所示。

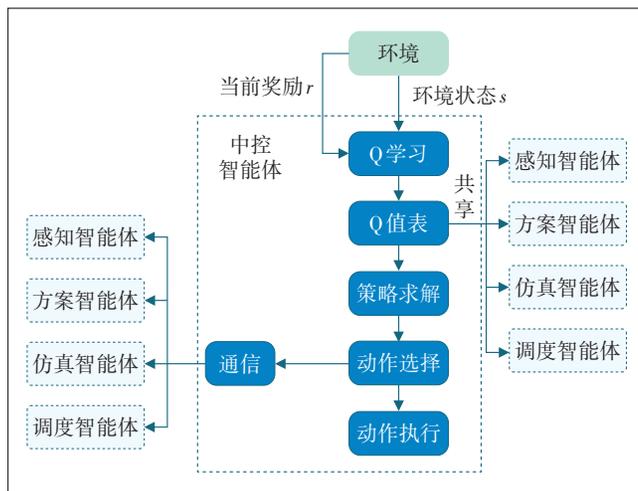


图9 多智能体强化学习框图

3.6 演进路线

随着大语言模型技术的发展与成熟应用,智能体和云网融合编排调度的融合将由浅入深,从简到繁,按照3个阶段持续演进。

a) 应用起步阶段。基于大语言模型和槽位模板,引入提示词工程和上下文学习等技术,通过与用户的自然语言交互形成完整的云网融合业务需求。在外部规划器的辅助下,智能体基于用户需求和专家模

板,利用大语言模型与内外部工具进行交互,选择合适的编排包进行实例化,并交由编排调度层执行流程,实现云网融合业务跨域资源的自动化调度。

b) 深度融合阶段。基于人类反馈对大语言模型进行调优,通过模型预测槽位,模拟更真实的人脑认知能力。逐渐摆脱外部规划器的辅助,由智能体通过思维链、思维树等技术和方法进行任务链规划和分解。利用大语言模型匹配合适的内外部API接口进行调用执行。通过集成云网知识图谱、云网数字孪生等工具进行仿真验证,实现云网融合业务的智能编排调度和异常回退自动处理。同时引入多智能体协作框架,提高云网融合领域应对复杂任务的执行效率和完成质量。

c) 智慧内生阶段。智能体与编排调度的边界被彻底打破,基于持续优化的大语言模型和AI算法,形成智慧内生的自主编排与调度能力,为用户提供融合多技术要素的智能云网融合服务,实现云网资源调度与业务需求的最优匹配,支持对编排与调度结果进行自验证、自纠错,升级为真正的“智慧大脑”。

4 问题及挑战分析

智能体属于新兴事物,与云网融合领域的结合还处于起步探索阶段,距离深入应用仍有差距,主要表现在以下几方面。

a) 智能体模拟人类认知涉及一系列感知、注意、记忆、学习、思考、判断和决策过程,需要有高效的体系架构来支撑,智能体处理大量质量参差不齐的多源异构数据,需要更先进的技术和方法。

b) 智能体通过自然语言实现大语言模型与内外部工具交互的接口,而大语言模型在微调时由于训练数据不足或过拟合、缺乏领域知识等原因易产生幻觉,输出不相关或不可靠的编排和调度结果,无法满足用户云网融合业务需求,对现网造成影响,虽然可以在实际操作物理云网前增加校验机制,如云网数字孪生模拟仿真,但是校验或仿真不通过的回退机制以及智能体的后续处理逻辑和流程还需要进一步优化和完善。

c) 智能体现阶段还停留在功能优化及效率提升上,能够完成诸如生成SQL感知云网资源状态、生成参数进行内外部API接口调用、对编排包进行实例化等基础性工作,还无法提供多要素融合编排、智能选路等专家级服务,需要模型持续迭代和AI算法的不断

优化。

d) 多智能体协同控制存在算法设计缺乏理论指导、实现难度大等问题,未来还需要进一步提高协同算法的可靠性和实用性以及协同控制的稳定性和实时性,同时组合多种控制算法,协同优化系统性能。

5 结束语

随着云网融合步伐的不断加快,算力网络时代已经来临。尽管智能体才刚起步,还需要大量的创新、试错和调优,然而由于其具备自主学习、规划和执行任务等高阶能力,将在云网融合领域探索更丰富的应用场景和应用模式创新,在改变人机交互模式和内容生成的基础上提供规模化、多智能体协作、复杂任务分解与执行服务,提升云网融合编排与调度的自动化、智能化、智慧化水平,推动云网融合从云网协同、云网融合向云网一体发展。

参考文献:

- [1] 孙杰,马国华,朱多智,等. 新型云网融合编排与调度系统架构与分析[J]. 信息通信技术与政策,2022,48(11):59-68.
- [2] 杨振东. 面向云网一体的分层解耦的运营支撑系统架构演进方法研究[J]. 邮电设计技术,2022(6):82-87.
- [3] 李健,赵雪亮,王智宏,等. 业务编排在云网业务中的应用研究[J]. 广东通信技术,2022,42(6):32-36,59.
- [4] 张露露,杨春刚,王栋,等. 意图驱动的云网融合按需编排[J]. 电信科学,2022,38(10):107-119.
- [5] 张鑫. 基于随愿网络的运营商云网融合业务的研究与实现[J]. 电信科学,2021,37(8):136-141.
- [6] 姬泽阳,杨春刚,李富强,等. 基于自然语言处理的意图驱动网络表征[J]. 系统工程与电子技术,2024,46(1):318.
- [7] 乔楚. 算力度量与算网资源调度思路分析[J]. 通信技术,2022,55(9):1165-1170.
- [8] 中国联合网络通信有限公司研究院. 基于意图的网业协同编排白皮书 [R/OL]. [2024-12-21]. <https://www.docin.com/p-4503608368.html>.
- [9] WENG L L. LLM powered autonomous agents [EB/OL]. [2024-12-21]. <https://lilianweng.github.io/posts/2023-06-23-agent/>.

作者简介:

殷炜,高级工程师,主要从事云网融合、算力网络、网络智能运维等系统的设计工作。

