



专题：智能体通信与网络技术

智能体互联网服务语义标识和路由技术研究

王施霁^{1,2}, 马力俊^{1,2}, 王立文^{1,2}, 张岩^{1,2}, 曹畅^{1,2}, 唐雄燕^{1,2}

(1. 中国联合网络通信有限公司研究院, 北京 100176;

2. 下一代互联网宽带业务应用国家工程研究中心, 北京 100048)

摘要: 随着人工智能与网络技术的深度融合, 智能体互联网成为下一代互联网演进的重要方向。传统互联网采用以“位置寻址”为核心的连接范式, 难以满足智能体互联网“业务驱动、服务即连接”的需求。系统阐述了智能体互联网中的服务语义路由技术体系、范式演进、核心协同需求及传统路由技术的局限性, 明确语义路由是实现从“服务需求”到“资源匹配”的关键, 详细分析了基于标签匹配与柔性适配的模糊搜索、“服务-域名”精准命名域名系统 (domain name system, DNS)、基于业务面网络 IP 的任播标识和路由、基于应用层统一资源定位符 (uniform resource locator, URL) 的服务语义标识和路由这 4 种核心语义路由机制在智能体互联网中的解决方案, 总结和对比了各个方案的技术特征, 为下一步研究提供重要参考。

关键词: 智能体互联网; 服务标识; 语义路由; 智能体协同; 资源调度

中图分类号: TN915.04; TP393

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.DXKX260126

Research on service semantic identification and routing technology for Internet of agents

Wang Shiji^{1,2}, Ma Lijun^{1,2}, Wang Liwen^{1,2}, Zhang Yan^{1,2}, Cao Chang^{1,2}, Tang Xiongyan^{1,2}

1. China Unicom Research Institute, Beijing 100176, China

2. National Engineering Research Center of Next Generation Internet Broadband Service Application, Beijing 100048, China

Abstract: With the deep integration of artificial intelligence and network technologies, the Internet of agents has become an important direction for the evolution of the next-generation Internet. The connection paradigm of the traditional Internet centered on “location addressing” can hardly meet the demands of the Internet of agents for “business-driven and service-as-connection”. The service semantic routing technology system, paradigm evolution, core collaboration requirements in the Internet of agents, and the limitations of traditional routing technologies were systematically elucidated. It was clarified that semantic routing was the key to realize the transformation from “service de-

收稿日期: 2026-02-27; 修回日期: 2026-05-25

通信作者: 张岩, zhangy1156@chinaunicom.cn

基金项目: 国家科技重大专项 (No.2026ZD1307000)

Foundation Item: The National Science and Technology Major Project (No. 2026ZD1307000)

mand” to “resource matching”. The solutions for four core semantic routing mechanisms in the Internet of agents, namely fuzzy search based on tag matching and flexible adaptation, precision-named DNS (domain name system) for “service-domain name” mapping, Anycast identification and routing based on IP of the business plane network, and URL (uniform resource locator) semantic routing with application-layer semantic encapsulation were analyzed in depth. Finally, the technical characteristics of each solution were summarized and compared, providing an important reference for subsequent research.

Key words: Internet of agents, service identification, semantic routing, agent collaboration, resource scheduling

0 引言

数字经济与人工智能技术的飞速发展推动互联网从“信息互联”向“智能互联”演进，以大语言模型为驱动的智能体技术正引发互联网架构的重大变革，互联网将演变为一个由具备感知、决策、执行与交互能力的智能体所构成的“智能体互联网”（Internet of agents）^[1-2]。智能体互联网的核心诉求是“业务驱动的服务互联”，即智能体需要基于高层级业务需求，自主发现、匹配并调用其他智能体、大模型、知识库、算力节点等异构服务资源^[3-4]。在此范式中，核心交互单元从“主机”或“服务端点”转变为“智能体”，完成复杂任务的模式也从“用户访问服务”演变为“智能体协同服务”。

传统互联网的路由技术以“位置寻址”为核心，依赖互联网协议（Internet protocol, IP）地址等物理标识实现节点间的连接，无法直接理解智能体的业务语义与服务需求，导致智能体间的协同面临“需求表达-资源匹配”的效率瓶颈^[5-6]。例如，当智能体提出“需要低时延的中文大模型推理服务”时，传统路由技术需要经过多层级适配与转换，难以直接将需求以语义的形式映射至合适的服务实例，这增加了协同复杂度并提高了交互时延。因此，构建支持语义理解与精准匹配的标识和路由技术体系，是智能体互联网规模化发展的关键支撑^[7-8]。

本文围绕智能体互联网的服务语义标识与路

由技术展开研究，主要内容包括：智能体互联网的核心需求与语义标识范式；模糊搜索、精准命名域名系统（domain name system, DNS）、任播网络标识、应用层统一资源定位符（uniform resource locator, URL）语义路由这4类语义路由机制的原理以及面向智能体场景的方案和技术细节；对这4类方法进行对比分析，并展望未来发展方向。

1 智能体互联网路由需求分析

智能体互联网是以高度自主的AI智能体为核心交互主体的新兴互联网范式，是支撑未来规模化社会级协作的关键基础设施。其核心目标是通过标准化协议与开放架构，将云端、边缘及终端侧的智能体、数据、模型与工具连接为开放、可扩展且安全的智能协同网络^[7-9]。在此范式下，智能体可作为用户的可靠代理，自主完成服务发现、任务协商与资源调度，通过跨域跨平台协作达成复杂任务；网络核心交互单元从传统主机转变为自主智能体，核心任务也从支撑人类信息交换升级为驱动智能体间高效精准协同与价值创造^[10-11]。当前，学术界与工业界虽已开展服务发现与路由技术的研究，但传统网络技术缺乏语义能力，AI领域的研究忽视了底层网络支撑，存在明显缺口。本节系统阐述智能体互联网的核心特征与需求，剖析传统路由机制的局限性，为后续研究奠定基础。传统互联网向智能体互联网演进路线如图1所示。

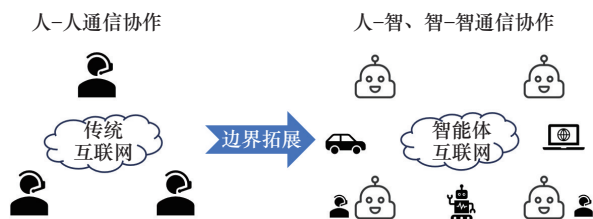


图1 传统互联网向智能体互联网演进路线

1.1 智能体互联网的核心特征和需求

在智能体互联网中,智能体虽具备“感知—决策—执行”的自主能力闭环,但真正的价值实现与复杂任务完成,根本上依赖于大规模、高效率的多智能体及多要素协同。这种协同的核心是“服务需求与资源的精准匹配”,即从用户或主导智能体的高层业务服务需求出发,通过网络系统动态发现并调度具备对应能力的服务智能体,最终以协作方式达成目标^[2]。为实现这一协同过程,对网络标识与路由方案提出了更高要求:首先,智能体互联网需要具备较强的语义理解能力,核心是适配智能体可能存在的模糊化服务需求,为智能体探索性协同中的需求与资源适配提供基础支撑^[3];其次,需要构建统一可读的语义标识框架,使不同域、不同类型智能体的服务需求语义可被有效识别,同时使各类资源的服务能力可被清晰表征,从而实现服务需求与异构资源之间的互联互通、精准对接;再次,需要实时感知服务实例的运行状态,动态适配智能体服务需求的动态变化,确保服务需求与资源状态始终保持实时匹配^[4,7,12];最后,需要具备极低的交互开销与毫秒级响应能力,核心是适配智能体间高频、短会话、海量并发的服务需求交互特征,确保服务需求发起后,能够快速完成资源匹配与响应。

上述核心特征均对网络标识与路由方案的设计提出了明确要求。

1.2 传统路由的局限性

IP作为全球网络通信的事实标准,通过目标IP地址标识网络设备接口,以“最短路径优先”

完成数据包端到端转发,在传统数据传输场景中具备良好的兼容性与普适性。然而,在面对智能体互联网“低时延、高并发、服务直达”的传输需求时,其固有设计缺陷凸显,无法满足“服务需求→资源匹配”的核心诉求。路由寻址方面,网络层IP地址与应用层服务接口粒度不匹配,IP仅标识网络设备接口或所属网络,难以匹配智能体业务驱动的服务调用粒度,导致路由决策无法精准对接业务需求^[5]。调度机制方面,IP路由默认“尽力而为”的转发策略,虽经等价多路径(equal cost multi-path, ECMP)、约束最短路径优先(constrained shortest path first, CSPF)等技术优化,但IP地址无法表达复杂服务需求,难以满足智能体业务对时延、带宽、安全隔离的差异化需求,降低了调度效率^[6]。跨域协同方面,网络因管理和技术需求被划分为多个区域,各区域路由方案与语义存在差异,而IP地址缺乏统一信息解读框架,跨域资源调度若无复杂服务等级协议(service level agreement, SLA)支撑,易出现策略失衡、性能不稳定的问题^[13]。

传统的语义路由是在IP网络中执行路由决策的过程,通过数据包中携带的,以及配置或编程到路由器中的附加信息来增强决策能力。其核心可分为基于Overlay网络架构的语义路由和特定域内架构的语义路由。Overlay网络架构在现有IP网络(Underlay)之上构建独立的Overlay网络层,以承载服务语义路由功能;域内架构则将语义路由限定于物理隔离的指定网络域,域内统一实施路由策略,域间通信通过隧道或应用网关完成语义适配^[5-6]。然而,传统语义路由所携带的“附加信息”多为通用网络属性,未纳入业务特有的语义维度,无法支撑“服务需求→资源能力”的精准映射。此外,传统语义路由的架构设计聚焦于“数据传输路径优化”,而非“服务资源调度”,并不适用于短时高频、异构兼容的业务场景。

综上, 现有技术存在标识体系缺乏语义表达能力、路由决策缺乏语义驱动、适配性与跨域协同能力不足等问题, 无法满足智能体互联网中服务异构化、动态化与协同高频化的需求。因此, 亟须构建面向智能体互联网的兼顾语义理解、异构兼容、动态适配与高效响应的完整标识和路由体系, 以实现智能体间高效协同与资源优化调度。下文重点围绕这一核心需求, 深入分析各类服务语义标识与路由方法, 从而基于上述分析及各类方法的特性适配情况, 为智能体互联网制定定制化的服务语义标识与路由方案。

2 服务语义标识和路由技术研究现状

2.1 服务语义标识和路由的概述

服务语义路由是传统语义路由技术的迭代演进升级, 核心是在数据包中嵌入服务类型、服务质量 (quality of service, QoS) 要求等服务语义信息, 将传统路由的通用附加信息转化为与业务强绑定的服务属性, 将服务需求编码为可路由标识, 使路由系统直接理解业务需求, 实现路由决策从“位置寻址”向“服务需求”的根本性转变^[12,14-15]。该技术以实现高效精准的“服务直达”为目标, 架构可根据部署需求与业务场景灵活适配, 形成多样化方案。

服务语义路由通过构建统一的语义标识体系, 标准化描述兼容异构服务资源的接口与质量差异, 实现“一次请求、多类适配”, 解决服务异构与协同高效的核心矛盾, 同时依托于服务注册表的动态同步, 实现资源状态感知、实例精准调度等能力, 且解析调度开销低, 可满足短时高频交互的毫秒级响应需求。

服务语义标识是核心支撑, 其多维度语义特性可以精准承载智能体的业务需求、能力参数等信息, 适配智能体“需求模糊化、服务异构化、状态动态化”的协同特征, 助力智能体互

联网的动态调度和跨域协同, 降低异构协作门槛。现有方案多聚焦于通用算力调度或传统服务场景, 尚未形成面向智能体互联网的定制化技术体系, 场景化定制研发成为突破适配瓶颈的关键。

2.2 4类典型的服务语义标识和路由技术

目前行业内常用的服务语义路由技术主要围绕“语义信息的载体与解析逻辑”形成差异化路径, 涵盖基于资源标签的模糊搜索机制、基于DNS的语义编码、基于业务面网络IP的任播标识以及基于应用层URL的服务语义标识四大方向。各类技术分别适配不同的业务场景与精准度需求, 共同构建起多层次、全场景的服务语义路由体系。下文对这4类典型技术逐一展开概述。

2.2.1 模糊搜索机制

模糊搜索是一种基于标签匹配与约束条件柔性适配的服务或资源检索技术, 不需要用户输入精确参数, 而是通过解析用户提出的约束条件, 如“国产”“速率 ≥ 10 Gbit/s”“内存 ≥ 64 GB”等, 与资源预定义的多维度标签 (如厂商、网络速率、内存容量、存储类型等) 进行相似度计算和语义关联, 从服务/海量异构资源中快速筛选出符合用户核心需求的候选服务/资源^[16-17]。本文将服务归为一种资源, 最终支撑数据中心自动化开通服务/资源的决策。其核心价值是降低用户操作门槛, 适配需求的模糊性与资源的异构性, 提升资源的匹配效率。模糊搜索机制如图2所示。

模糊搜索机制中平台先采集各类资源的多维度属性与URL、查询协议等索引方式, 经过标准化处理构建统一信息资源库; 再通过自然语言处理技术解析用户的非标准化需求, 提取核心诉求与约束条件并映射至标准标签体系, 转化为结构化请求; 随后基于信息资源库与结构化请求开展柔性匹配, 文本类属性采用语义相似度算法, 数值类约束采用区间匹配, 结合分层赋值权重排序

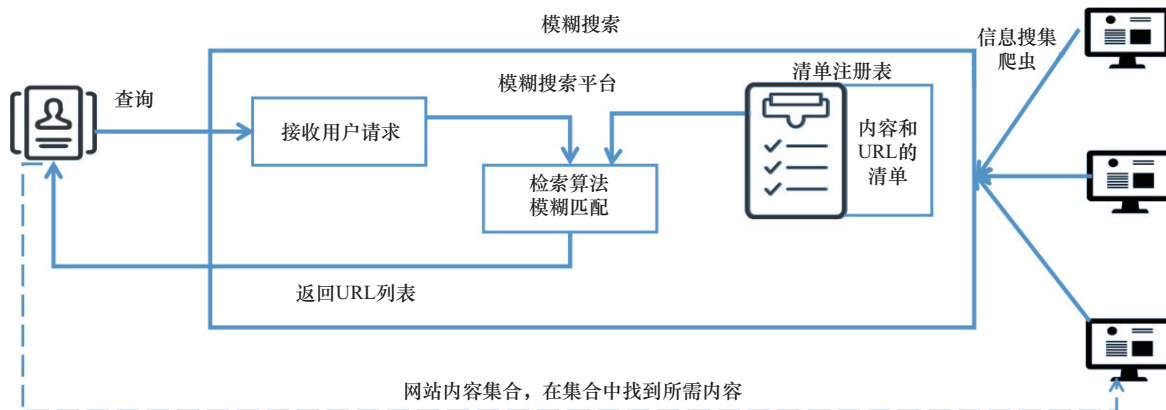


图2 模糊搜索机制

筛选出 Top- N 最优资源；最后向用户返回资源访问方式，同时监控访问状态、采集反馈信息、更新资源属性与服务状态，形成完整的模糊搜索路由闭环。

2.2.2 精准命名 DNS 机制

基于服务语义的精准命名 DNS 是一种将服务核心语义如服务类型、功能场景、QoS 要求、资源属性等编码为标准化域名的语义路由技术。其核心特征是“一个域名表征一种特定服务”，通过域名本身承载业务需求，使 DNS 不仅完成“域名→IP”的位置寻址，更能直接实现“服务需求→目标服务”的精准映射。精准命名 DNS 机制如图 3 所示。

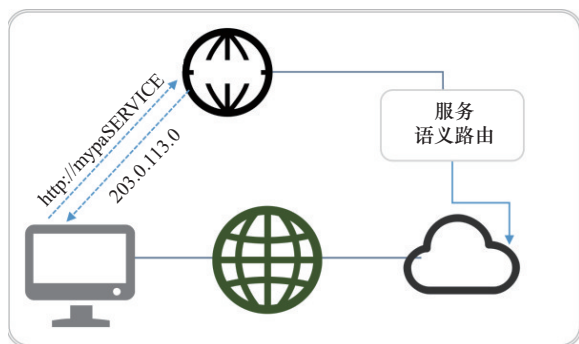


图3 精准命名 DNS 机制

在精准 DNS 技术中，系统需要提前制定统一语义编码规则，将服务核心语义字段嵌入域名，形成标准化语义域名体系，并建立全局语义域名

一服务映射表；服务提供方通过动态域名系统（dynamic domain name system, DDNS）协议向 DNS 服务器提交语义域名、服务实例 IP 地址及属性元数据完成注册，且实例变动时自动更新信息，以保障映射动态一致；作为控制面核心的 DNS 服务器，在接收用户语义域名查询请求后，先拆分域名语义字段进行解析校验，再通过 A/AAAA 记录查询匹配最优目标服务器 IP 地址并反馈；用户依据该 IP 地址封装请求报文发送至目标服务器，经服务器上 Web 服务代理转发至对应服务实例进行处理，处理结果沿原链路返回；系统采集访问状态反馈至 DNS 服务器，优化后续筛选策略，形成全流程闭环。

2.2.3 业务面网络标识 IP 任播标识机制

业务面网络标识 IP、应用层 URL 服务语义标识机制如图 4 所示。基于任播 IP 的业务层网络标识（任播标识机制）是一种以语义化任播 IP 为核心的网络标识与路由技术。其核心逻辑是同类服务同 IP 标识，将功能一致、语义相同的服务分配一个专属任播 IP 地址。该 IP 不仅是任播路由的统一寻址入口，更承载明确的业务语义，实现“一个 IP=一类服务”的强关联映射。该技术打破了传统 IP 仅标识物理节点的局限，让 IP 地址从“位置导向”升级为“业务语义导向”，客户端不需要关注服务实例的物理位置、真实 IP 地址或部署数

量,仅需要向语义化任播IP发起请求,网络侧通过任播路由机制自动将请求调度至最优服务实例^[18-19],适用于算网融合、云服务、分布式系统等各类需要灵活调度同类服务的场景,如图4中客户端2所示。

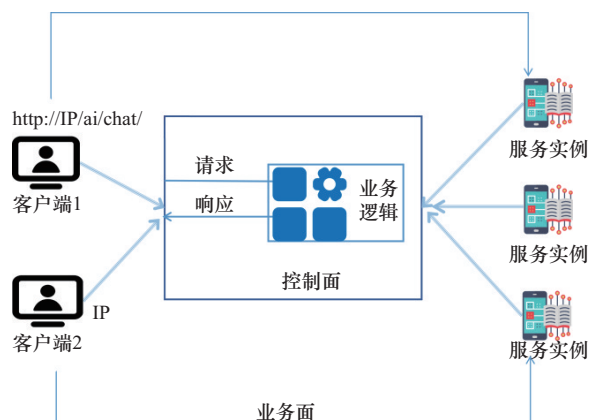


图4 业务面网络标识IP、应用层URL服务语义标识机制

在基于任播IP的业务层网络标识的路由方案中,系统首先建立各类服务与专属任播IP的绑定规则,将语义一致的服务集群关联至唯一任播IP并承载业务语义,同时构建全局映射表;再通过标准化协议采集该任播IP关联的所有服务实例信息,同步更新至服务注册表,实现任播IP与实例的动态关联,并支持实例变动时的自动更新;网关接收客户端请求后,解析出目的任播IP,转发至解析模块提取服务类型、算力要求等信息,并上传至计算模块;计算模块依据解析信息查询注册表,结合实例实时QoS指标与运行状态筛选出最优实例,生成含真实IP与IPv6段路由(segment routing IPv6, SRv6)路径的调度方案,反馈至网关;网关按方案封装请求报文后按指定路径转发,经服务端网关解析后交付至目标服务端;服务端执行业务并生成结果,沿原SRv6路径反向返回至客户端,形成完整的业务闭环。

2.2.4 应用层URL服务语义标识机制

应用层业务面URL服务语义路由是一种以

URL为语义载体、超文本传输协议(hyper text transfer protocol, HTTP)为传输依托的应用层路由技术。其核心逻辑是将服务语义编码至URL的某个字段中,如路径URL-PATH或参数中,结合HTTP首部字段的附加信息,使URL不仅是资源定位标识,更成为“服务需求的结构化描述”。客户端发起携带语义URL的HTTP请求,网络侧解析URL中的语义信息与首部字段,实现“服务需求→目标服务实例”的精准路由,不需要依赖底层IP地址或网络层配置,完全在应用层即可完成语义驱动的服务调度^[19-20]。传统URL仅解决“访问哪个资源”的问题,而该技术通过语义编码,使URL同时回答“访问什么类型服务、需要什么功能、适配什么版本”,使HTTP请求自带路由决策依据,见图4中客户端1。

在应用层业务面URL服务语义路由中,系统预设统一编码规则,将服务核心语义字段(服务类型、算力规格、版本信息等)嵌入URL,建立“一类服务对应专属URL”的映射关系。控制面通过标准化协议采集各URL关联的所有服务实例信息,包括实例真实IP、部署位置、资源配置、QoS能力及可承载的语义标签等,并同步更新至服务注册表。客户端侧网关接收携带语义URL的HTTP请求后,优先解析URL及参数中的语义字段,提取服务类型、算力需求、版本约束等核心特征,同时解析HTTP首部字段,整合为结构化请求信息。网关基于解析后的结构化信息,查询控制面服务注册表,筛选出与URL语义、首部约束完全匹配的候选实例,再结合实例实时状态(负载率、可用性)及QoS指标(响应时延、吞吐量),确定最优服务实例,形成转发目标清单。网关将HTTP请求报文封装,按匹配结果转发至最优服务实例的对应地址;目标服务实例接收报文后,执行对应业务任务并生成结果,按HTTP协议封装响应



数据，携带原始请求的源地址信息回传至客户端侧网关；网关校验响应完整性后，转发至客户端。

3 智能体互联网服务语义标识与路由技术

在智能体互联网的协同范式中，服务语义是指智能体为完成特定任务所表达的业务意图，其核心是期望发现并调用的目标服务（如 DeepSeek 大模型推理、人脸识别等），旨在实现需求与资源的精准匹配。一个完整的服务语义描述包含两个层次：一是标识服务核心能力与类别的“功能意图”，即可通过服务名称、模型 ID 或应用程序接口（application program interface, API）标识表征的主线；二是定义交付质量、性能与上下文等要求的“增强约束”，如算力规格、时延、成本及会话上下文等。根据描述的明确性，服务语义可分为精准语义（具体的功能意图）和模糊语义（缺乏明确功能主线，但具备一定约束条件）两种形态，这直接影响路由机制的选择。在技术实现中，服务语义需要转化为可计算、可路由的标识，其常见表示方法包括结构化标签体系、键值对集合以及嵌入 URL 或专用协议字段的编码信息。本节探讨的 4 种路由机制，其本质差异在于上述服务语义信息的不同承载方式、解析粒度与匹配策略。

3.1 面向智能体互联网的模糊搜索方法

面向智能体互联网的模糊搜索方法通过构建“需求解析→语义匹配→动态绑定”的闭环机制，不需要输入精确技术参数，即可将智能体的模糊业务诉求（如“需要能处理中文的快速文生图服务”）高效精准映射至能力适配、状态合规的智能体实例或服务链，实现从业务需求到资源实体的首次连接发现^[21-22]。面向智能体互联网的模糊搜索机制如图 5 所示，具体分为以下 4 步。

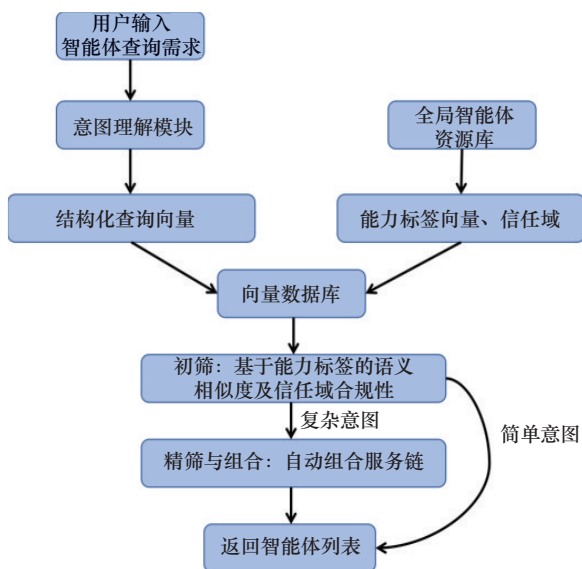


图5 面向智能体互联网的模糊搜索机制

步骤1 智能体语义标识的统一注册。为实现业务精准匹配，需要为网络中可调度智能体构建标准化的语义描述，通过标准化协议主动注册或爬取智能体的语义描述及相关的多维属性形成语义注册列表，涵盖核心功能的能力属性、负载率/响应时延等的性能与状态属性、信任域/通信协议的信任与协作属性，构建全局的、动态更新的智能体资源库。

步骤2 模糊需求的解析与结构化编码。当主导智能体或用户提交自然语言等模糊的协同请求时，语义解析模块对原始请求进行分词、消歧和实体识别，抽取出核心任务原子及隐含的约束；编码模块再按照预定义的服务语义模板，将其转换为包含能力需求、QoS 约束、数据格式及会话上下文的结构化查询向量，作为后续匹配的基础。

步骤3 多维度语义匹配与候选集生成。匹配模块接收结构化查询向量后，对全局智能体资源库进行检索优选：先基于能力标签的语义相似度、任务匹配度及信任域合规性初步筛选，形成基础候选集；再针对复杂需求自动组合并验证服务链；最终通过多目标评分模型等方法，综合考量候选对象的语义匹配度、实时负载、历史成功率

及网络开销, 输出按优先级排序的最优匹配列表。例如, 对于文本标签匹配, 常采用基于词袋模型 (如词频-逆文档频率 (term frequency-inverse document frequency, TF-IDF)) 的余弦相似度计算, 或利用预训练语言模型生成语义向量后再进行相似度比对; 对于数值型 QoS 约束, 则通常使用区间匹配或阈值过滤算法。在生成综合排序时, 一个常见的工程实践是构建一个多属性加权评分函数, 综合考量语义匹配度、实时负载、历史成功率及网络开销等维度, 最终输出按优先级排序的最优匹配列表。

步骤4 结果反馈与用户侧动态绑定。平台向请求方返回含 IP: Port、服务标识等接入信息的最优匹配列表, 此步骤仅作推荐而非强制路由, 请求方可依据自身策略自主选择目标、发起连接并配置通信参数。平台同时提供动态绑定辅助, 任务执行中若监控到绑定智能体性能劣化, 将触发告警并建议重选目标智能体, 由请求方决策是否切换, 兼顾灵活性与服务的弹性及鲁棒性。

该技术通过自然语言解析与柔性标签匹配, 精准适配智能体互联网模糊化服务需求的核心特征, 为智能体探索性协同提供了高效的资源发现能力, 并大幅降低了异构智能体间初始协作的门槛, 最适配业务需求模糊、探索性强的初始协同场景, 其技术特点与本文 3.3 节 (任播) 和 3.4 节 (应用层 URL) 形成互补, 解决了“不知道精确服务名或地址时如何发现资源”的问题, 为后续使用更精准的路由方式进行高效调用提供了发现入口。

3.2 面向智能体互联网的精准命名 DNS 技术

在智能体互联网中, 精准命名 DNS 技术深度适配“业务驱动、服务异构、动态协同”的特征, 将“域名与服务对应”原则扩展为“语义化服务需求→最优智能体实例”的动态调度机制, 将传统“位置寻址”DNS 升级为融合“语义寻址+动态调度”的路由枢纽, 为海量异构智能体提供了高效的语义寻址入口^[19-21], 具体实现分为以下 4 步。

步骤1 语义编码规则制定与智能体服务注册。制定全网统一的语义域名编码规范, 建立“服务语义→域名字段”的标准化映射体系, 定义服务能力、QoS 要求、版本等核心字段编码格式, 形成结构化域名。在所有服务型智能体接入网络时, 通过增强型 DDNS 协议向协同平台注册, 注册信息包含网络可达 IP 及能力、性能阈值、SLA 等语义属性元数据, 在全局注册中心建立“语义域名-属性集-动态实例列表”的精准绑定关系, 实例变动时通过 DDNS 自动更新。面向智能体的精准命名 DNS 域名编码规则如图 6 所示。

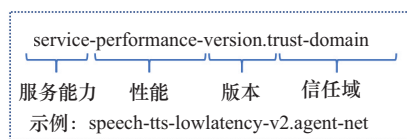


图6 面向智能体的精准命名 DNS 域名编码规则

步骤2 用户请求接收与域名语义解析。用户或主导智能体不需要知晓实例地址, 即可携带表征服务的语义域名发起标准 DNS 查询请求。作为控制面核心的增强型 DNS 服务器接收请求后, 按照预设规则拆解域名, 解析提取服务类型、质量要求等关键约束条件。

步骤3 动态实例匹配与最优 IP 筛选。DNS 服务器完成语义解析后, 查询全局注册中心, 获取匹配的在线、负载正常的服务实例列表, 通过内置的动态调度模块, 结合实例负载率、网络时延、历史成功率等实时数据, 经调度算法计算筛选出当前最优实例, 最终将真实 IP 通过 DNS 应答报文返回请求方。

步骤4 用户直连访问与服务闭环优化。请求方以返回的 IP 为目的地址, 封装业务请求报文并建立网络连接, 与目标智能体实例完成服务调用。数据面交互由双方自主完成, DNS 系统不再介入。

该技术通过统一的语义域名编码框架, 实现了智能体服务需求与资源的精准对接, 适配智能



体互联网统一语义标识的核心需求，为跨域、海量异构智能体的规模化协同提供了标准化、高可靠的寻址与调度能力，深度融合了语义标识与网络调度，其技术特点与任播和应用层 URL 形成协同互补，为已知明确语义需求但不知实例位置的场景提供了标准化、高性能的发现机制，是支撑智能体互联网规模化服务调度的基础性路由方案。

3.3 面向智能体互联网的任播标识和路由方法

面向智能体互联网的任播标识和路由方法，核心是通过统一任播标识关联同类功能智能体服务，融合能力感知与动态调度^[22-23]，实现智能体间高效通信、精准发现、最优路由及可靠转发。面向智能体互联网的任播标识和路由方法如图7所示，具体分为以下6步。

步骤1 任播标识定义与分配。建立标准化映射规则，绑定语义一致的智能体服务集群与专属任播IP，实现服务语义与智能体标识的深度融合。

步骤2 智能体服务实例注册。系统通过标准化协议采集/注册任播IP关联的全量智能体实例信息，包括真实IP、部署位置、算力配置、响

应时延、负载状态及QoS支撑能力，实现任播IP与实例的动态关联。在智能体实例扩容、迁移、下线或升级时，系统自动触发注册更新，刷新注册表，确保任播IP始终关联有效实例。

步骤3 请求接收与语义解析。发起方智能体不需要关注目标实例位置与真实IP，仅向对应语义化任播IP发起请求。网关接收报文后提取目的IP，转发至解析模块。解析模块结合全局映射表解码业务语义，明确服务类型、算力需求及请求核心，并校验发起方权限与QoS诉求等。

步骤4 网络调度与最优实例筛选。计算模块依据解析结果查询注册表，先筛选符合语义、算力及QoS基础要求的候选实例，再结合实时监控数据，综合评估负载率、时延、带宽及可用性，通过加权算法选定最优实例（如实例A），生成含实例真实IP（IP1(a)）与基于IPv6的段路由列表（segment routing over IPv6 list, SRv6-LIST）路径的调度方案。

步骤5 路径建立与任务转发。发起方网关按照调度方案处理报文，嵌入SRv6路径标识，

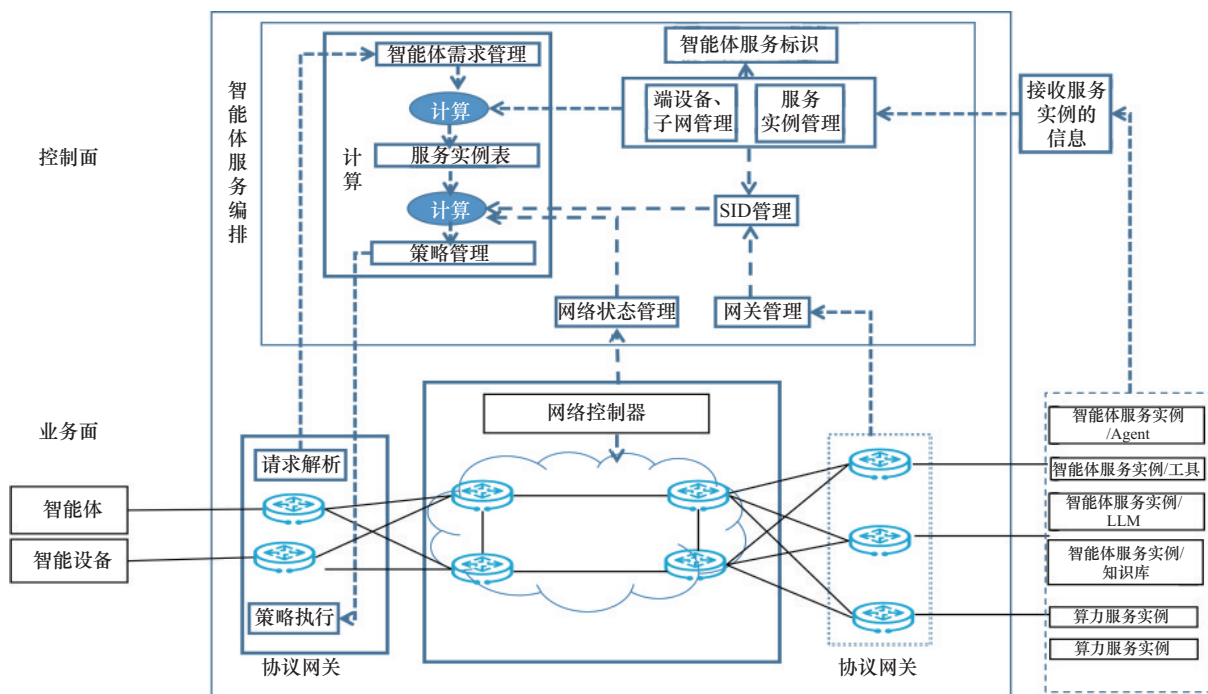


图7 面向智能体互联网的任播标识和路由方法

并按指定路径转发。中间路由节点依托路径标识快速转发,不需要二次解析任播IP。目标实例A的网关通过本地段标识(segment identifier, SID)解析报文,确认归属后交付至实例A。

步骤6 结果生成与反向返回。实例A执行业务任务(如数据计算、协同决策)并生成响应。网关维护路径一致性,确保响应数据精准、高效返回发起方,形成任播通信完整闭环。

该技术通过语义化任播IP实现业务与网络的深度融合,依托专属任播IP关联同类智能体服务,实时感知服务实例运行状态并动态调度,在业务数据报文转发过程中实现智能体服务语义路由,其技术特点与本文3.1节和3.2节方法同属智能体互联网语义路由技术体系,互为补充,共同丰富路由方案适配场景,其核心作用是支撑规模化、动态负载场景下的智能体协同,为异构智能体高效通信提供可靠路由支撑。

3.4 面向智能体互联网的应用层URL的服务语义标识和路由方法

面向智能体的应用层语义标识方案,以“语义精准承载+路由高效调度”为核心,适配智能体协同的异构协议场景,通过选取协议原生字段或核心业务字段嵌入服务语义,实现“业务需求→资源”的直接映射,支撑灵活、高效的路由决策^[24-25]。

智能体调用大模型API的过程采用“双层可选”的标识设计:选用URL-PATH作为基础标识,通过结构化编码(如“/agent/model/gpt-4-v/v1”)承载模型大类、版本等核心语义。网关可快速提取这些信息,不需要穿透消息体,从而适配高频低时延的智能体协同场景。然而,URL-PATH解析仅能覆盖模型大类、版本等基础语义维度,对于大模型调用这类需要更精细语义描述的场景,仅靠URL层面的解析难以满足精准调度需求,亟须进一步穿透至消息体层面。为此,可以考虑补充消息体JavaScript对象表示法(JavaS-

cript object notation, JSON)中的model字段作为增强标识,直接关联“llama3-70b-fp16”这类精准属性,通过解析model字段获取更具体的模型名称及精细属性^[19-20]。

本文以智能体互联网中一个典型的智能体到智能体(agent-to-agent, A2A)协议为例展开研究。A2A协议下的应用层服务语义标识和路由方案,同样以URL作为服务语义标识载体,同时需要考虑会话亲和性问题,可以以会话标识(contextId)、任务标识(taskId)等字段判断本次消息是否需要考虑会话亲和性及其关联的存量任务^[26-28]。面向智能体互联网的应用层服务语义路由架构如图8所示,具体实现步骤如下。

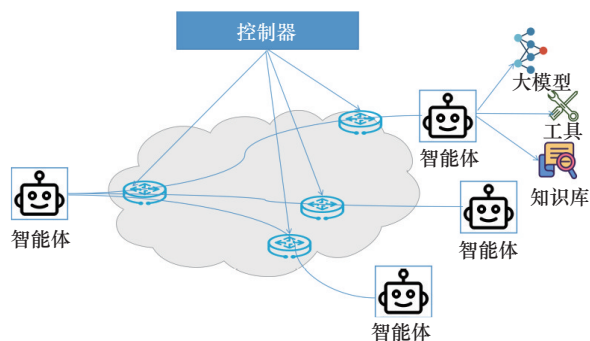


图8 面向智能体互联网的应用层服务语义路由架构

步骤1 智能体信息注册与映射表生成。智能体参与A2A协议下的服务交互前,需要完成服务信息注册,核心是将包含智能体访问入口URL及对应功能的AgentCard注册到网络系统,为后续路由决策提供基础依据。网络系统在获取智能体注册信息后,维护本类智能体功能对应的标识URL和在线智能体实例映射表,支持信息的动态更新与失效剔除,确保映射关系的准确性与时效性。

步骤2 网关接收用户请求和业务需求解析。智能体发起的服务请求均统一发送至应用层语义路由服务网关。网关完成请求的接收与合法性校验,确保请求符合A2A协议规范,解析消息内容,获取其中HTTP协议层的URL以及A2A协



议层的Task、Message等消息内容，并提取相关字段，如对于Message消息同时解析报文中的contextId、taskId等核心字段。

步骤3 网关判断是否发起路由。网关根据报文中提取的字段可以判断出是否为有状态的连续请求，是新建任务，还是已有任务的续传请求。若为已有任务的续传请求，则根据taskId、contextId等字段查询缓存的后端提供服务的实例，不需要重新路由，直接将请求转发即可。否则，网关需要启动完整的语义路由流程，用于后续的判定。

步骤4 新任务的服务语义路由。网关判定为无状态任务或新任务，不需要保持会话亲和性，则以URL表征的智能体标识对应的业务需求为依据，检索可用的候选智能体；随后根据预设的路由策略，从候选智能体中选定最优目标智能体；最后将新任务请求转发至该目标智能体，并缓存该任务与后端选中的智能体实例的关系，用于保持该任务后续请求的连续性。

步骤5 结果生成与反馈。目标服务智能体接收报文后，执行对应业务任务并生成结果，按照A2A协议封装响应数据，并携带原始请求的源地址信息回传至客户端侧网关；网关校验响应的完整性后，将其转发至客户端。

本节以A2A协议为例，给出了一种应用层服务语义标识和路由方案，通过控制面与业务面网关协同，在网络层与业务层间构建独立平面，实现了智能体服务与网络地址的解耦，支持统一注册管理、应用层（Layer7，L7）解析调度及QoS保障，达成语义化细粒度跨层跨域协同优化，且不影响智能体交互体验。

为确保所述路由方案的可行性与鲁棒性，在系统实现时还需要考虑若干关键工程机制。例如，在会话亲和性维护上，系统需要设计高效的“上下文标识→服务实例”映射缓存，其失效策略可采用老化机制或与实例健康状态联动。当发

生路由冲突（如同一会话标识被指向不同实例）时，系统需要依据预设策略（如“先入为主”或“择优选择”）进行仲裁。这些机制的具体实现需要根据系统的可靠性、一致性与性能要求进行深度权衡和设计。

该技术通过应用层协议字段的精细化语义编码与调度，将路由粒度细化至单次任务协同，精准适配智能体互联网服务需求动态变化的核心特征，同时兼容异构协议场景，能为跨域算网深度协同下智能体高频、短会话的交互需求提供灵活可扩展的路由支撑，其以URL为语义载体，通过contextId、taskId等A2A协议关键字段辅助处理会话亲和性问题，实现了业务与网络的深度融合路由调度，与本文3.1节和3.2节的方法互为补充且可组合部署，进一步强化了跨域算网深度协同场景下的路由支撑能力。

关于智能体网络协议（agent network protocol，ANP）和模型上下文协议（model context protocol，MCP）等其他智能体互联协议的应用层服务语义标识和路由方法，可以根据协议本身的特点进行定义，实现架构和思想相似。为实现跨厂商、跨协议的语义互联与协同调度，可进一步通过定义统一的服务语义元数据规范与协议适配服务网关来解决语义标准统一问题。具体而言，在控制面可设计一个共通的语义描述框架，将不同协议（如A2A的contextId、ANP的特定会话标识、MCP的资源（resource）名称等）所承载的核心服务语义（如服务类型、能力、会话上下文等）映射为一组内部统一的抽象服务路由属性。业务面网关则需要集成相应的协议解析插件，在转发时实时执行语义提取与转换，确保不同协议的请求在核心路由决策层面对齐同一套语义标准和调度策略，从而在支持协议异构性的同时，实现全局一致、精准的服务匹配与路由，具体实现的解决方案本文不展开讨论。

4 对比分析

4.1 特征对比

本节针对面向智能体的 4 类服务语义标识和路由方法的技术特征与适配边界进行分析,从语义匹配的精度和确定性、报文的交互模式、端到端时延特征、控制面负载、调度机制和粒度、适用场景 6 个维度展开深度对比,以明确各类方法的差异化优势与适用场景。4 类面向智能体的服务语义标识和路由方法对比见表 1。

(1) 语义匹配的精度和确定性分析

方法 1 为唯一模糊匹配方案,依托多维度资源标签的语义相似度计算,不需要智能体输入精确参数即可筛选候选资源,输出概率性 Top- N 列表,其匹配成功率依赖于资源库的完备度与阈值设定,适配需求模糊的协同场景,能突破离散标识局限,实现对无穷、连续资源的高效筛选,是智能体探索性协同与广谱资源发现的核心支撑。方法 2、方法 3、方法 4 均为精准匹配方案。其中,方法 2 基于明确的“功能主线”(语义域名),将服务语义编码为标准化域名,通过字段拆分与注册表校验绑定业务需求与服务实例,匹配成功

率确定;方法 3 基于明确的“功能主线”(任播 IP),以“一类服务一个 IP”为原则,依托任播 IP 与服务集群的强关联实现语义直达,匹配成功率确定;方法 4 基于明确的“功能主线”(URL/模型 ID),通过应用层 URL 承载细粒度语义,解析其语义信息与请求约束,并结合网络语义映射表实现服务需求与服务实例的精准匹配,匹配成功率确定。

(2) 报文的交互模式

方法 1、方法 2 采用控制面+业务面分离模式,智能体先通过控制面发送请求获取资源信息,再通过业务面完成数据传输。该模式首次交互即可完成复杂筛选,后续请求不需要再连接控制面,适配性较强,但存在首次启动时延,且控制面难以与网络状态实时同步,难以实现深度算网融合。方法 3、方法 4 则直接通过业务面传输报文,语义信息全程承载于业务面报文中。方法 3 将语义嵌入任播 IP,方法 4 将语义编码在 A2A 应用层协议字段,二者均不需要单独的控制面请求,业务面报文可同步完成语义识别、路由决策与数据传输,且能实时联动网络状态进行服务调度,但每次请求均需要网络解析语义,语义与报文紧耦合,长期高频请求下会持续累积网络处理开销。

表 1 4 类面向智能体的服务语义标识和路由方法对比

对比维度	方法 1 (面向智能体互联网的模糊搜索方法)	方法 2 (面向智能体互联网的精准命名 DNS 技术)	方法 3 (面向智能体互联网的任播标识和路由方法)	方法 4 (面向智能体互联网的应用层路由标识方法)
语义匹配的精度和确定性	模糊匹配; 输出概率性 Top- N 列表, 成功率依赖资源库与阈值设定	精准匹配; 基于明确“功能主线”(域名), 匹配结果确定性强	精准匹配; 基于明确“功能主线”(任播 IP), 匹配结果确定性强	精准匹配; 基于明确“功能主线”(URL/模型 ID), 匹配结果确定性强
报文的交互模式	控制面+业务面分离	控制面+业务面分离	业务面承载语义	业务面承载语义
端到端时延特征	首次请求时延高(需要复杂语义计算), 后续连接时延低	首次请求时延中等(需要 DNS 查询), 后续连接时延低	时延最低(网络层直接路由), 无首次时延概念	每次请求时延稳定(需要应用层解析), 高于网络层方案
控制面负载	高(集中式资源库承受复杂查询压力)	高(集中式 DNS 服务器承受查询压力)	低(负载分散于网络路由协议)	中(需要服务注册中心, 但查询可缓存)
调度机制和粒度	资源调度, 提供服务发现与推荐	资源调度, 提供服务发现和实例地址	任务亲和性被动绑定 TCP 会话, 最小调度粒度为完整 TCP 会话, 粒度较粗	任务亲和性精准绑定业务协议, 最小调度粒度为单次服务请求, 粒度精细
适用场景	智能体探索性协同、广谱资源发现、需求模糊的协同场景	需求明确、需要长期稳定连接且对初始时延不敏感的场景	网络和业务协同, 且对转发性能有高要求的场景	网络和业务协同, 调度精度更精细的需求适用场景



(3) 端到端时延特征

方法1和方法2是控制面+业务面分离模式。方法1首次请求时延高，需要完成复杂语义相似度计算与资源筛选；后续连接时延低，目标资源信息已获取，可直接进行数据传输。方法2首次请求时延中等，需要执行DNS语义域名查询与实例匹配；后续连接时延低，目标实例IP已确定，可直接通信。方法3和方法4是业务面承载语义模式。其中，方法3时延最低，依托网络层任播IP直接路由，无“首次请求时延”概念，单次业务报文即可同步完成语义识别、路由决策与数据传输。方法4每次请求时延稳定，需要在应用层解析URL/模型ID语义，时延水平高于方法3，但无首次/后续差异，更适配高频、多任务并发的交互场景。

(4) 控制面负载

方法1与方法2均呈高控制面负载特征。其中，方法1依赖集中式资源库存储智能体语义属性与实例状态，需要持续承接复杂语义相似度计算、Top-N资源筛选等查询压力，对资源库的读写与计算能力要求极高；方法2依托集中式DNS服务器维护语义域名与服务实例的映射关系，核心节点需要承载大量DNS语义查询与实例匹配请求，查询压力高度集中。方法3与方法4则表现出更优的负载特性。其中，方法3的控制面负载最低，语义信息直接嵌入任播IP地址，负载分散于网络层路由协议，不需要部署集中式资源库或核心服务器，仅需要维护基础路由表，无额外查询处理开销；方法4的控制面负载处于中等水平，虽需要依赖服务注册中心维护URL/模型ID与实例的映射关系，但可通过缓存机制优化查询请求，降低对注册中心的直接访问压力，整体负载水平介于高负载方案与低负载方案之间。

(5) 调度机制和粒度

方法1与方法2均采用资源调度模式，聚焦于服务发现层面：方法1依托集中式资源库提供服务发现与推荐能力，基于语义相似度完成资源

筛选与Top-N推荐，侧重探索性场景下的资源匹配；方法2通过语义域名解析实现服务发现，返回目标实例地址，侧重确定性场景下的实例寻址。二者均未深入任务级的精细调度。方法3与方法4则转向任务亲和性调度模式，核心差异体现在协议约束与调度粒度上：方法3受限于网络层协议约束，无法解析A2A协议的消息体，任务亲和性被动绑定TCP会话，最小调度粒度为完整TCP会话，粒度较粗；网关基于五元组生成固定流表，后续报文均转发至初始实例，无法基于智能体协同的任务粒度进行动态调度。方法4突破TCP会话亲和性约束，解析至A2A协议实现精准任务亲和性控制，调度粒度细化至单次服务请求，粒度精细；网关可独立解析每个请求的语义信息，结合实例实时状态完成动态匹配，能在长连接场景下实时切换最优实例，保障服务质量稳定。

4.2 层次分析

本文所归纳的4类服务语义标识与路由方法，并非仅依据载体形式划分，而是遵循网络分层架构与控制/业务面解耦思想，形成两级四层、互补协同的理论关系。4类服务语义标识与路由方法关系示意图如图9所示。

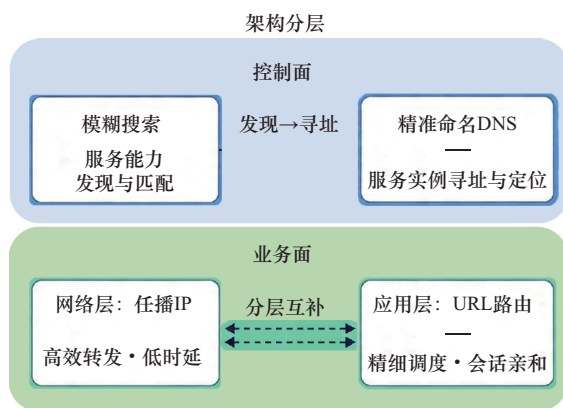


图9 4类服务语义标识与路由方法关系示意图

从层级与平面划分上，4类方法呈现清晰的架构分层。控制面层面包含两类机制：模糊搜索侧重于服务能力的发现与匹配，解决“有哪些服

务可满足需求”的问题；精准命名DNS侧重于服务实例的寻址与定位，解决“目标服务位于何处”的问题。二者在控制面内形成先发现、后寻址的递进支撑关系。业务面转发层面包含两类不同层级的路由机制：基于任播IP的网络层方法，在网络层实现服务直达与高效转发；基于URL的标识方法，在应用层实现任务级精细调度。

从协同部署关系来看，4类方法在功能上互补、在场景上可组合、在选型上可互斥。

(1) 互补组合场景：可采用“模糊搜索+DNS+任播/应用层路由”的组合模式。例如，智能体先通过模糊搜索找到符合需求的服务类型，再通过DNS获取服务地址，最终通过任播IP或应用层URL完成业务接入与任务调度，实现全流程协同。

(2) 分层互补场景：网络层任播路由与应用层URL路由可互补使用。对低时延、大流量的服务调用，采用网络层任播转发；对多协议、细粒度、带会话亲和性的任务调用，采用应用层URL路由，兼顾效率与灵活性。

(3) 场景互斥选型：在简单、统一的业务场景中，可根据需求选择一种路由方案独立部署。例如，大规模同构服务集群适合采用任播路由；跨厂商、跨协议、多智能体协同场景更适合采用应用层URL路由。

上述4类方法各有适配场景与优劣，在不同场景下可组合部署、协同工作，在部分场景下也可根据需求独立选用，共同覆盖智能体互联网从模糊需求发现、精准寻址定位、高速网络转发到任务级精细调度的全流程协同需求。未来研究可进一步围绕统一语义编码规范、跨协议兼容机制、动态自适应调度策略以及安全可信路由等方向持续深化，不断提升语义路由体系的标准化、智能化与规模化支撑能力，为智能体互联网高效、灵活、可信的全域协同提供更完善的技术保障。

5 结束语

本文围绕智能体互联网“业务驱动、服务互联”的核心诉求，针对传统“位置寻址”路由无法适配智能体协同的痛点，开展服务语义标识与路由技术研究：首先，剖析了智能体互联网的范式演进与核心特征，明确其从“设备连接”到“智能协同”的跃迁本质，提炼出需求模糊化、服务异构化等四大协同需求；论证了传统IP路由与语义路由的局限性，确立了语义路由作为“服务需求→资源匹配”关键支撑的定位。在此基础上，本文提出4类核心服务语义路由技术并完成智能体场景适配：一是模糊搜索方法，基于标签柔性匹配需求模糊场景；二是精准命名DNS技术，通过语义域名编码实现规模化跨域协同；三是任播标识和路由方法，以“一类服务一个IP”的原则保障低时延传输；四是应用层服务语义路由方法，实现单次服务请求的细粒度调度与异构兼容。多维度对比明确了各类技术的适配边界，这4类方案在落地过程中通过组合使用构建起覆盖全场景的多层次技术体系。本研究突破了传统路由的位置导向局限，为智能体互联网规模化协同提供了关键技术支撑。

未来，智能体互联网服务语义标识与路由技术仍需要在体系化、标准化与安全可信等方向持续深化。第一，进一步推进服务语义元数据标准的统一与完善，推进跨厂商、跨协议（ANP、MCP、A2A）的语义兼容与互认，解决异构体系间语义互通与编码归一问题，为全域协同奠定基础；第二，强化轻量化、高性能的工程实现机制，结合边缘计算与云网协同特性，优化语义解析、缓存策略与冲突处理机制，提升高并发、高频短会话场景下的路由效率与鲁棒性；第三，重点加强安全与隐私防护能力构建，针对智能体通过语义路由直接交互带来的安全风险，建立语义标识防伪与完整性校验机制，防范恶意智能体篡改语



义、虚假注册、服务冒充与欺骗攻击,构建基于身份认证、权限管控与信任评估的准入体系,对异常会话、路由劫持、服务泛洪等行为进行实时检测与阻断,同时引入隐私计算、联邦语义匹配等技术,在路由与协同过程中保护智能体身份、任务意图、服务能力等敏感信息不被泄露,实现“可用不可见”的隐私安全保障;第四,推动智能化与自治化演进,结合人工智能实现路由策略自优化、路径自决策、异常自恢复,提升动态复杂场景下的自适应服务调度能力。通过在上述方向的持续突破,高效、兼容、安全、可信的智能体互联网服务语义路由技术体系将被构建,为下一代智能互联网的演进提供坚实支撑。

参考文献:

- [1] 中国联合网络通信有限公司研究院,下一代互联网宽带业务应用国家工程研究中心.智能体互联网白皮书(2025)[R]. 2025-08-19.
China Unicom Research Institute, National Engineering Research Center for Broadband Business Applications of Next Generation Internet. White paper on Internet of agents (2025)[R]. 2025-08-19.
- [2] Wang Y T, Guo S L, Pan Y H, et al. Internet of agents: fundamentals, applications, and challenges[J]. IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking, 2026, 12: 4476-4501.
- [3] 朱威,马田丰,金友兴,等.智能体互联网潜在关键技术展望[J].信息通信技术,2025,19(5):48-54.
Zhu W, Ma T F, Jin Y X, et al. Outlook on potential key technologies for Internet of agents[J]. Information and Communications Technologies, 2025, 19(5): 48-54.
- [4] 段晓东,孙滔,陆璐,等.智能体互联网:概念、架构及关键技术[J].电信科学,2025,41(10):1-10.
Duan X D, Sun T, Lu L, et al. Internet of agents: conception, architecture and key technologies[J]. Telecommunications Science, 2025, 41(10): 1-10.
- [5] King D, Farrel A. A survey of semantic Internet routing techniques[R]. 2021-11-26.
- [6] King D, Farrel A, Jacquenet C. Challenges for the Internet routing systems introduced by semantic routing[R]. 2022-04-25.
- [7] 中国移动通信研究院.智能体通信网络(ACN)白皮书[R]. 2024-06-27.
China Mobile Research Institute. AI-agent communication network (ACN) white paper[R]. 2024-06-27.
- [8] ANP开源技术社区. Agent Network Protocol (ANP)技术白皮书V2:走向开放的智能体互联网[R]. 2025.
ANP Open Source Technology Community. Agent Network Protocol (ANP) technical white paper V2: towards an open Internet of agents[R]. 2025.
- [9] 张琪玮.中国工程院院士郭贺铨:智能体驱动互联网“焕新”[N].中国电子报,2025-07-25(6).
Zhang Q W. Academician Wu Hequan: agents drive Internet renewal[N]. China Electronics News, 2025-07-25(6).
- [10] 杨赞.AI智能体:重构互联网生态与人类角色的技术革命[N].人民邮电,2025-07-29(8).
Yang Z. AI agents: a technological revolution reconstructing Internet ecology and human roles[N]. People's Posts and Telecommunications, 2025-07-29(8).
- [11] 潘彤,余文艳.智能体互联网:未来网络的新图景[J].中国电信业,2025(4):30-34.
Pan T, Yu W Y. Agent Internet: a new prospect of future network[J]. China Telecommunications Trade, 2025(4): 30-34.
- [12] 黄光平,谭斌,吉晓威.一种面向服务的算网路由架构方案[J].中兴通讯技术,2023,29(4):38-42.
Huang G P, Tan B, Ji X W. An architecture solution of service-oriented routing for computing and networking[J]. ZTE Technology Journal, 2023, 29(4): 38-42.
- [13] Kim D W, Kwon W O, Park K, et al. Internet protocol engine in TCP/IP offloading engine[C]//Proceedings of the 2008 10th International Conference on Advanced Communication Technology. Piscataway: IEEE Press, 2008: 270-275.
- [14] Ren P G, Wang X F, Zhao B K, et al. OpenSRN: a software-defined semantic routing network architecture[C]//Proceedings of the 2015 IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS). Piscataway: IEEE Press, 2015: 101-102.
- [15] Wang T, Di R H. A semantic Web service discovery model based on pastry system[C]//Proceedings of the 2010 Fifth Annual ChinaGrid Conference. Piscataway: IEEE Press, 2010: 205-208.
- [16] 孙瑾,宋娜娜,王璐,等.分布式的KBB索引树多关键词模糊排序搜索方案[J].电子与信息学报,2025,47(10):3858-3868.
Sun J, Song N N, Wang L, et al. A distributed KBB index tree multi-keyword fuzzy sorting search scheme[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2025, 47(10): 3858-3868.
- [17] 黄保华,赵统,雷素梅,等.基于语义的模糊关键词排序可搜索加密方案[J].广西大学学报(自然科学版),2023,48(5):1167-1180.
Huang B H, Zhao T, Lei S M, et al. Semantics-based fuzzy keyword ranking searchable encryption scheme[J]. Journal of Guangxi University (Natural Science Edition), 2023, 48(5): 1167-1180.
- [18] 中国联合网络通信有限公司,华为技术有限公司.中国联通云网融合向算网一体技术演进白皮书[R].2021-03-24.
China Unicom, Huawei Technologies Co., Ltd. China Unicom white paper on technology evolution from cloud-network integration to computing-network integration[R]. 2021-03-24.
- [19] 张岩,王立文,曹畅,等.面向无状态计算服务的算力网络技术研究[J].通信学报,2025,46(9):47-64.
Zhang Y, Wang L W, Cao C, et al. Research on computing power network technology for stateless computing services[J].

Journal on Communications, 2025, 46(9): 47-64.

- [20] 中国联合网络通信有限公司研究院, 下一代互联网宽带业务应用国家工程研究中心. 中国联通面向无状态计算服务的算力网络白皮书[R]. 2025-08-19.
- China Unicom Research Institute, National Engineering Research Center for Broadband Business Applications of Next Generation Internet. China Unicom white paper on computing force network for stateless computing services[R]. 2025-08-19.
- [21] Xi Z H, Chen W X, Guo X, et al. The rise and potential of large language model based agents: a survey[J]. Science China Information Sciences, 2025, 68(2): 121101.
- [22] Wang Y T, Pan Y H, Su Z, et al. Large model based agents: state-of-the-art, cooperation paradigms, security and privacy, and future trends[PP]. V3. arXiv [2026-01-10].arXiv: 2409. 14457.
- [23] Gan W S, Wan S C, Yu P S. Model-as-a-service (MaaS): a survey[C]//Proceedings of the 2023 IEEE International Conference on Big Data (BigData). Piscataway: IEEE Press, 2023: 4636-4645.
- [24] Wang Z X, Meng F R. Hierarchical semantic overlay network[C]//Proceedings of the 2008 International Conference on Computer Science and Software Engineering. Piscataway: IEEE Press, 2008: 78-81.
- [25] Ren P G, Wang X F, Zhao B K, et al. OpenSRN: a software-defined semantic routing network architecture[C]//Proceedings of the 2015 IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS). Piscataway: IEEE Press, 2015: 101-102.
- [26] Anthropic. Introducing the Model Context Protocol[EB]. (2024-11-25) [2026-03-20].
- [27] Agent Network Protocol. Agent network protocol (ANP)[EB]. [2026-03-20]
- [28] Google. Agent2Agent (A2A) Protocol[EB]. (2025-04-29) [2026-03-20].

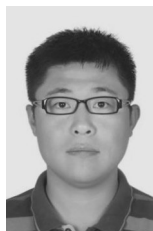
[作者简介]



王施霁 (1993-), 女, 中国联合网络通信有限公司研究院工程师, 主要研究方向为智能体互联网、算网融合、算力标识、服务语义路由和标准化。



马力俊 (1990-), 女, 中国联合网络通信有限公司研究院高级工程师, 主要研究方向为智能体互联网体系、算力网络创新架构与全域资源编排调度优化和开发。



王立文 (1984-), 男, 博士, 中国联合网络通信有限公司研究院高级工程师, 主要研究方向为云网技术等。



张岩 (1983-), 男, 博士, 中国联合网络通信有限公司研究院正高级工程师, 主要研究方向为算力网络、云网融合、未来网络体系架构等。



曹畅 (1984-), 男, 博士, 中国联合网络通信有限公司研究院正高级工程师, 主要研究方向为下一代互联网、算力网络等。



唐雄燕 (1967-), 男, 博士, 中国联合网络通信有限公司研究院正高级工程师, 主要研究方向为宽带通信、下一代互联网、算力网络等。