

基于语义Web的旅游推荐系统架构与实现

古圣钰^{1,2}, 章牧²

¹惠州学院地理与旅游学院, 广东省 惠州市

²暨南大学深圳旅游学院, 广东省 深圳市

发布日期: 2025年12月1日

摘要

在数字文旅融合持续深化背景下, 传统旅游推荐系统在处理高维异构数据、理解用户语义意图及提供可解释推荐方面存在显著局限。本文基于语义Web技术, 系统回顾旅游推荐系统从单体结构向本体驱动架构的演进过程, 提出一种分层解耦、语义增强的系统模型。通过构建包含RDF数据层、OWL本体层、语义推理层与应用服务层的四层架构, 本文分析了Jena、Pellet、Hermit等推理引擎性能差异, 比较了典型国内外系统(如SWTOUR)的实践路径, 归纳出当前面临的推理性能瓶颈、本体构建成本与用户语义建模困难问题。最后, 提出融合微服务架构、边缘计算与轻量语义服务的未来研究方向, 为旅游推荐系统的智能化发展提供技术支撑与理论依据。

关键词

语义Web; 旅游推荐; 本体建模; 推理引擎; 系统架构; 个性化服务

Architecture and Implementation of Semantic Web-Based Tourism Recommender Systems

Shengyu Gu^{1,2}, Mu Zhang²

¹School of Geography and Tourism, Huizhou University, Huizhou 516007, Guangdong, China

²Shenzhen Tourism College, Jinan University, Shenzhen 518053, Guangdong, China

Abstract

Traditional tourism recommender systems face limitations in processing heterogeneous data, capturing users' semantic preferences, and delivering explainable results. This study explores a semantic Web-based architecture for tourism recommendation systems, highlighting a layered model driven by ontologies. The proposed architecture comprises four key layers: RDF-based data integration, OWL-based ontology modeling, semantic reasoning, and service-oriented applications.

文章引用: 古圣钰, & 章牧. (2025). 基于语义 Web 的旅游推荐系统架构与实现. 计算机科学辑要, 1(2), 21 - 30.

ISSN Print: 3079-5362; ISSN Online: 3079-5370.

DOI: 10.63313/CS.8019

Comparative analysis of reasoning engines (Jena, Pellet, Hermit) and real-world systems (e.g., SWTOUR) reveals critical challenges such as reasoning complexity, ontology construction costs, and difficulties in user semantic modeling. The study further outlines future directions incorporating microservice architecture, edge computing, and lightweight semantic services to enhance system scalability and intelligence.

Keywords

Semantic Web; Tourism Recommendation; Ontology Modeling; Reasoning Engine; System Architecture; Personalized Services

Copyright © 2025 by author(s) and Erytis Publishing Limited.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



1. 引言

在数字经济与文旅融合的双重驱动下, 旅游行业正加速迈向智能化服务阶段, 传统信息获取方式难以满足日益增长的个性化需求。尤其在 OTA 平台、社交媒体与地理信息系统广泛应用背景下, 游客面临海量非结构化数据, “信息过载”问题显著, 推动推荐系统技术不断演进。现有旅游推荐系统多依赖协同过滤与内容过滤机制, 其系统架构多为单体结构, 难以应对高维异构数据处理、复杂语义理解及多源信息集成等需求[1]。这类系统缺乏语义深度建模, 解释能力与泛化性不足, 亦难适配如景区状态变化、天气影响等实时场景。语义 Web 技术的引入为上述瓶颈提供解决方案。通过本体 (Ontology) 为核心的语义建模语言 (如 RDF、OWL)、查询语言 (SPARQL) 及推理机制, 系统可实现跨平台数据语义对齐、知识组织与智能推荐[2]。语义结构有助于精准刻画旅游资源、用户兴趣与上下文信息, 增强推荐的个性化与可解释性。当前已有如 SWTOUR [3]、T-Recs [4]等系统尝试集成本体建模与推理逻辑, 采用多层系统结构, 体现了语义增强架构的实践潜力。然而, 语义推荐系统仍面临推理效率不足、数据标准化程度低、本体建模成本高等问题, 限制了其在大规模旅游场景中的推广应用。基于此, 本文拟围绕“基于语义 Web 的旅游推荐系统架构与实现”展开综述, 目标包括: (1) 回顾系统架构的演进历程; (2) 解析语义 Web 在架构设计中的核心作用; (3) 对比典型系统案例的设计与适用性; (4) 梳理当前面临挑战并提出未来研究趋势, 包括微服务化、边缘计算集成与本体-LLM 协同模型等。全文结构如下: 第二章介绍系统架构理论基础与演进趋势; 第三章分析语义增强架构分层模型; 第四章探讨系统核心组件与实现机制; 第五章综述典型语义系统实例; 第六章分析技术挑战; 第七章展望未来系统演化方向; 第八章总结研究价值与启示。本研究旨在为智慧旅游系统研发提供具备结构参考与趋势引导意义的技术综述框架。

2. 旅游推荐系统的架构研究

旅游推荐系统作为智慧旅游体系中的关键支撑技术, 其架构演进过程直接影响系统的响应效率、扩展能力及语义处理深度。本章拟从传统架构出发, 系统梳理旅游推荐系统在结构设计方面的发展脉络, 并着重探讨引入语义 Web 理念后, 系统功能与架构所产生的实质性提升。

2.1. 传统旅游推荐系统架构回顾

早期的旅游推荐系统主要基于协同过滤与内容过滤模型, 系统部署形式多为单体架构 (Monolithic

Architecture)。此类系统通常将数据处理、模型计算、推荐结果生成等功能集成于单一应用程序中，依赖传统关系型数据库进行数据存储，推荐逻辑通过手工规则或评分矩阵实现。例如，用户-项目矩阵用于基于邻域（User-based / Item-based）的协同计算，常采用余弦相似度或皮尔逊相关系数对用户/项目之间进行相似度分析。此类架构具备实现简便、部署灵活等优点，适用于小规模数据环境。然而，其在面对以下问题时存在明显瓶颈：（1）缺乏对旅游资源语义层次的建模，仅基于关键词或数值评分进行匹配；（2）对用户兴趣变化与上下文因素缺乏建模能力，导致推荐缺乏个性化深度；（3）架构封闭、模块耦合度高，难以应对数据异构性与系统功能扩展需求；（4）推荐结果不可解释，缺乏用户信任机制支持。随着旅游数据来源日益多元化，用户行为场景复杂化，传统推荐系统架构的局限性愈加凸显。

2.2. 语义 Web 理念引入下的推荐系统架构重塑

为解决传统架构存在的语义贫乏、模块耦合、可解释性差等问题，学术界与工业界开始尝试将语义 Web 技术引入推荐系统架构设计之中。语义 Web 以本体为知识表达核心，结合 RDF 三元组模型、OWL 本体语言与 SPARQL 查询语言，能够实现对旅游资源、用户兴趣、行为上下文等多维实体关系的结构化、语义化建模与处理[2]。语义增强推荐系统普遍采用分层式架构，主要包括以下四个核心层次：（1）数据层：负责接入结构化、半结构化与非结构化旅游数据源，包括景区信息、用户行为日志、社交数据等。数据统一转化为 RDF 格式，便于统一表示；（2）本体层：构建旅游本体库与用户兴趣本体，对景点、活动、时间、地点、预算等信息进行语义建模，并支持扩展上下位关系、等价关系、属性约束等逻辑；（3）推理层：基于 SWRL 或 SPIN 规则引擎进行语义推理，挖掘隐含兴趣、相似资源关系，提供推荐候选集；（4）应用层：面向最终用户提供个性化推荐、路径规划、语义搜索、可视化解释等功能。此类语义增强推荐系统具备以下优势：（1）语义对齐与本体驱动推荐：可实现旅游资源与用户兴趣之间的概念层匹配，提升推荐精度；（2）上下文感知建模：结合时间、位置、社交等信息进行动态建模，提升系统适应性；（3）可解释性增强：推荐过程可生成基于本体关系链的推荐路径，增强用户信任；（4）模块解耦、可扩展：分层结构便于系统横向扩展与跨平台接入，提高灵活性与维护效率[5]。

表 1. 传统推荐系统架构与语义增强架构对比表

架构类型	核心技术组件	推荐机制	可解释性	扩展能力	数据适应性
传统单体架构	协同过滤/内容过滤 + 数据库	基于评分或行为	弱	弱	差
语义增强分层架构	RDF + OWL + SPARQL + 推理引擎				

2.3. 架构演进趋势分析

从架构演进视角来看，旅游推荐系统的发展已从“计算为主”逐渐转向“知识驱动”，系统能力不仅局限于推荐结果输出，更强调对推荐逻辑、用户意图与上下文的深层理解与表达。同时，语义 Web 架构也面临一些挑战：（1）RDF 存储与 SPARQL 查询在大规模并发访问下存在性能瓶颈；（2）推理引擎的响应时间难以满足实时推荐要求；（3）本体构建成本高，跨平台复用度仍有待提升；（4）数据更新频繁带来的语义漂移问题影响推荐稳定性[6]。未来推荐系统架构将进一步融合微服务架构、边缘计算、联邦知识图谱等新型体系结构，并在保持语义推理优势的同时优化响应效率与系统弹性。

综上所述，旅游推荐系统架构正经历从传统单体应用向知识驱动、分层解耦、语义联通方向的系统性变革。语义 Web 技术作为关键支撑，为推荐系统注入了语义表达、智能推理与跨平台适配的能力，成为面向智能旅游服务体系构建的重要技术路径。

3. 旅游本体构建方法综述

旅游推荐系统在语义 Web 框架下的有效运行, 离不开科学合理的分层架构设计。为实现原始数据的统一语义化表示、高效的语义推理处理以及最终面向用户的个性化服务输出, 系统架构需明确各功能层次的角色定位, 并保证层间语义一致性与技术接口的松耦合性。基于当前国际研究主流趋势和技术实现路径, 旅游推荐系统的语义架构通常划分为数据层、本体层、推理层和应用层四个核心子系统。各层不仅承担独立的逻辑功能, 而且通过统一的语义基础实现跨层协同与数据贯通[7]。

3.1. 数据层：多源异构信息的语义化接入基础

数据层作为系统底座, 主要任务是整合来自不同渠道的旅游相关原始数据资源, 并实现其向语义层的标准化转换。典型数据源包括但不限于: (1) OTA 平台中的景区、酒店、路线等结构化数据; (2) 政务平台中的目的地管理信息与法规数据; (3) UGC 社交媒体中的评论、评分、标签等非结构化内容; (4) 位置服务平台中的地理坐标、交通路径等时空数据。为实现数据的统一语义表示, 数据层需采用 RDF (Resource Description Framework) 格式对原始信息进行三元组建模。结构化数据可通过 R2RML 映射脚本完成 RDF 转换, 非结构化数据则依赖自然语言处理技术与实体识别模型实现知识抽取[8]。所有转换后的数据将统一存储于 RDF 三元组库中 (如 Jena TDB、Virtuoso), 为后续本体绑定与语义推理提供可调用资源。

3.2. 本体层：语义规则与知识结构的中枢平台

本体层承担旅游推荐系统的“知识中枢”职能, 其核心任务是定义各类旅游相关概念 (如“景点”“住宿”“用户行为”等) 的语义结构与上下位逻辑关系。该层包含两类主要知识组件: (1) TBox (Terminological Box): 定义旅游领域的概念结构与属性 (如景区、属于地区、推荐类型), 使用 OWL 语言建模。(2) ABox (Assertion Box): 描述具体实例信息与属性值 (如珠海长隆海洋王国是一个主题公园), 多由数据层绑定生成。通过本体层, 可以有效解决异构数据的术语不一致问题, 实现语义对齐与跨平台信息融合[9]。同时, 该层支持对概念之间的逻辑约束建模 (如所有高分景区均应具备基本服务设施), 为推理层提供规则支撑。

3.3. 推理层：语义逻辑的计算与知识补全机制

推理层是语义增强旅游推荐系统中最具智能性的功能层, 主要负责基于本体规则进行逻辑推演、知识补全和兴趣推导。该层依赖于推理引擎 (如 Jena Reasoner、Pellet、HermiT) 执行以下核心任务: (1) 实体类型推导: 根据用户历史行为补充其兴趣偏好; (2) 语义关系推断: 通过路径规则发现未显式关联的兴趣点; (3) 规则匹配计算: 基于 SWRL 等规则语言自动生成推荐候选集; (4) 一致性检测与本体维护: 保持 TBox 与 ABox 之间的一致性, 避免语义漂移。推理层的引入, 使得推荐系统能够挖掘出用户隐性需求, 扩展用户兴趣空间, 提升推荐结果的个性化与覆盖面。然而, 该层也对计算性能提出较高要求, 尤其在处理百万级三元组时, 需结合增量推理与缓存机制进行性能优化[10]。

3.4. 应用层：面向服务的交互接口与应用功能承载

应用层是系统面向最终用户的可视化服务接口, 主要承担推荐结果展示、用户行为采集、交互反馈处理等功能。该层通过 RESTful API 或 GraphQL 接口与推理层对接, 实现多端适配 (网页端、移动端、智慧终端等)。应用层典型功能模块包括: (1) 旅游资源推荐模块 (按主题、路线、位置); (2) 用户兴趣可视化模块 (基于本体关系网络); (3) 推荐理由解释模块 (基于路径推理链); (4) 用户反馈采集与建模模块 (反哺数据层与本体层)。由于面向用户需求, 该层在设计中需高度关注可用性、可

解释性与响应速度，确保系统在保持语义精度基础上实现良好的用户体验。

3.5. 层间语义接口与协同机制分析

四层架构虽功能各异，但通过共享本体与统一 RDF 数据格式，形成了紧密的语义耦合机制：（1）数据层与本体层通过 R2RML 与 Ontology Mapping 规则建立术语绑定关系；（2）本体层与推理层通过逻辑规则接口共享概念结构；（3）推理层与应用层通过 API 返回推理结果及推荐理由链，支撑交互可解释服务。这种“知识驱动 + 技术协同”的架构模式有效增强了系统的可组合性、可移植性与演化能力，为多源旅游信息环境下的智能推荐提供了坚实架构基础。

为系统展示旅游推荐系统各层功能与核心技术，特将其整理如下表所示：

表 2. 旅游推荐系统分层功能与技术对照表

系统层级	功能描述	核心技术	输入输出形式
数据层	数据采集、预处理、RDF 生成	R2RML、NLP、三元组建模	原始数据 → RDF
本体层	概念建模、实例绑定	OWL、Protégé、Alignment API	RDF 语义结构 → 本体模型
推理层	偏好推导、语义扩展	Jena、Pellet、SWRL	本体 + ABox → 推理结果
应用层	推荐呈现、交互反馈	REST API、可视化组件	推理结果 → 用户服务

该分层设计不仅明确了各模块的功能边界，还为后续模块演进与异构系统集成提供标准化接口支撑。

4. 核心组件与技术分析

在基于语义 Web 的旅游推荐系统架构中，核心技术组件的设计与集成对于系统的语义处理能力、响应性能与服务稳定性起着决定性作用。该章围绕数据管理模块、推理引擎体系及 API 集成技术展开分析，以为旅游信息服务系统提供系统级技术支撑。

4.1. 数据管理与查询：RDF 数据存储与 SPARQL 语言支撑

旅游语义推荐系统首先须具备稳定可靠的知识存储能力。传统关系型数据库无法支持 RDF 三元组模型和语义查询逻辑，语义 Web 体系中常采用 RDF 存储系统（RDF Store）实现大规模本体数据与实例数据的存储、索引与访问功能。目前主流 RDF 数据库包括 Virtuoso、GraphDB、Blazegraph 等。在数据查询方面，SPARQL 作为 W3C 推荐的语义查询语言，支持对 RDF 图谱进行结构化检索、关系联结与谓词过滤，具备灵活表达语义路径与约束条件的能力。例如，系统可通过 SPARQL 检索出“位于广东省，且类型为‘自然风景区’的免费景点”，用于支持按兴趣推荐策略。RDF 数据管理系统的选型需依据旅游推荐系统的数据规模、更新频次与查询复杂度综合考量。以 Virtuoso 为例，该系统支持并发查询优化机制与推理缓存机制，适合大规模部署；GraphDB 则侧重于与 OWL 推理深度整合，适合语义一致性要求较高的应用场景。

4.2. 语义推理引擎功能比较

推理能力是语义 Web 架构区别于传统推荐系统的关键所在。推理引擎通过对本体（TBox）与实例（ABox）的逻辑关系分析，能够推导出隐含知识，填补用户兴趣与旅游资源之间的语义空隙。目前语义推理引擎主流工具包括 Jena、Pellet 与 Hermit。Jena 是 Apache 基金会推出的开源语义 Web 框架，内置规则引擎与基本 OWL Lite 支持，适合构建轻量级推荐系统。Pellet 是一个全功能的 OWL-DL 推理机，支持复杂的概念组合推理与不一致检测，性能均衡，广泛应用于本体驱动推荐场景。Hermit 推理引擎基于“Hypertableau”算法，强调逻辑完备性与推理深度，适用于高一致性语义应用但推理开销相对较大[11]。

下表对比了三种常用推理引擎的主要技术特征与适用场景：

表 3. 主流语义推理引擎功能特性对比表

推理引擎	支持标准	推理类型	性能表现	典型应用场景
Jena	OWL Lite/SWRL	前向规则推理	中（适中数据量）	用户偏好填补、规则链逻辑
Pellet	OWL DL/SWRL	完备 DL 推理	中高（支持缓存优化）	本体一致性验证、动态推荐逻辑
Hermit	OWL 2 DL	Hypertableau 算法	低（计算资源占用高）	复杂语义验证、知识合规审查

综合而言，在旅游推荐系统中，若需快速响应与轻量级部署，Jena 为优选；若需强语义关系支持与高一致性要求，可选择 Pellet 或 Hermit 配合高性能服务器集群部署。

4.3. 系统集成与 API 设计

随着语义 Web 技术在旅游推荐系统中的广泛应用，系统集成能力成为连接底层语义模块与上层应用服务的桥梁。如何构建可扩展、可重用、可开放的系统接口架构，是实现旅游信息服务生态化与平台化的关键步骤。

4.3.1. 面向服务的语义接口构建原则

语义 Web 推荐系统需满足“服务即语义”的设计理念，即系统暴露的不仅是数据访问接口，更是包含语义规则与推理能力的服务逻辑。因此，其 API 设计应遵循以下原则：（1）语义封装：接口输出应基于本体结构和 SPARQL 结果集，提供可解释的推荐路径与理由；（2）上下文感知：接口需支持动态参数接入，如时间、位置、设备等上下文信息，实现差异化响应；（3）兼容性强：支持 RESTful 风格，兼容主流 Web 框架与移动端调用。以“个性化景区推荐”服务为例，其 API 响应不仅需包含景区基本信息，还应附带推荐路径，如“因用户偏好为文化类 → 匹配岭南文化景区 → 推理得出 X 景点推荐”。

4.3.2. API 调用与后端模块集成机制

在系统部署层面，语义 Web 推荐系统通常采用中间层服务总线架构。具体做法如下：（1）前端用户请求通过 API Gateway 进行标准化封装；（2）后端服务通过语义处理模块接入 RDF 数据库、推理引擎与用户行为日志；（3）中间层通过规则引擎（如 Drools）或语义调度器调取推理结果，构建个性化推荐内容；（4）响应数据经序列化处理后由接口返回，供 App 或 Web 前端展现。该方式能够确保系统架构的可扩展性，支持后续语义模块（如情感分析、群体偏好建模）插件式集成。

4.3.3. 面向应用的服务开放路径

在旅游政务数据开放与平台互联日益强化的背景下，语义推荐服务不仅应服务于本系统，还应具备平台化能力。因此，应探索如下服务开放路径：（1）私有接口开放：供旅游主管部门、智慧景区平台调用，实现本地推荐功能；（2）SDK 与微服务输出：封装为可嵌入式推荐模块，供第三方平台复用；（3）语义查询开放接口：开放 SPARQL Endpoint 接口，供学术与开发者社群基于统一本体查询推荐依据，增强系统可解释性。通过以上集成设计，可实现从知识建模、逻辑推理、数据管理到用户服务的完整闭环，有效提升旅游推荐系统的智能性与可信性。

5. 推荐系统原型与典型应用

随着语义 Web 技术在旅游领域的深入推进，多个国内外研究团队与企业机构相继开展了语义驱动的旅游推荐系统原型开发与落地探索，旨在提升推荐精度、增强语义可解释性与系统智能水平。为更好地理解该类系统的功能定位与技术实现路径，有必要从架构模型、语义机制、服务模式与部署方式等维度

进行系统梳理。

5.1. 国外语义旅游推荐系统案例分析

在国际范围内，SWTOUR（Semantic Web-based TOURism recommender system）是较早引入语义 Web 理念的推荐原型系统之一。该系统由意大利 CNR 研究中心开发，采用本体建模与推理引擎相结合的方式，将用户兴趣、旅游资源与时间上下文信息建模为 OWL 本体，并通过 SWRL 规则引擎进行语义匹配与推荐生成[5]。另一典型系统为 Semantically Enhanced Travel Recommender System，由德国弗劳恩霍夫研究所开发，融合了 Linked Data 与开放旅游本体（如 Hontology），支持用户通过 SPARQL 查询方式实现个性化路径规划、酒店匹配与活动推荐，具备良好的语义可解释性与复用性[12]。此类系统均强调“语义驱动+逻辑推理”的技术架构，将用户行为与旅游资源之间的隐性关系通过规则建模与知识图谱关联挖掘出来，突破传统推荐算法在语义表达与推理深度方面的局限。

5.2. 国内相关系统实践现状

在我国，旅游语义推荐系统应用尚处于起步阶段，但也有若干具有代表性的尝试。“语义增强型智慧旅游服务平台”项目基于本体构建景区知识图谱，并通过 GeoSPARQL 支持时空路径规划，实现基于位置、天气与节假日语境下的智能推荐。该系统集成了 Pellet 推理引擎与 GraphDB 知识存储，并与微信小程序前端联动，具备实际应用潜力。另一个示范性工程为“基于知识图谱的红色旅游智能推荐系统”，由湖南某高校与地方文旅局联合开发，聚焦红色文化资源语义建模、游客教育场景推荐与讲解服务。系统构建了红色景点、人物、事件之间的语义网络，并融合用户画像与访问路径，实现个性化推送与沉浸式讲解。

5.3. 架构与功能特征对比分析

综合对国内外典型系统的研究可见，语义推荐系统在实际部署过程中需重点解决以下问题：一是本体构建与维护机制的复杂性，二是语义推理性能对推荐时效性的影响，三是系统与前端应用的集成方式灵活性。下表汇总了典型系统的关键特征，为本研究后续推荐系统构建提供技术参考。

表 4. 典型旅游语义推荐系统案例比较表

系统名称	本体应用类型	推理机制	技术框架	部署场景
SWTOUR（意大利）	兴趣/资源本体匹配	SWRL 规则 + RDF 推理	Jena + OWL + SPARQL	景点、活动个性化推荐
Semantically Enhanced System（德国）	Linked Data + 开放本体	SPARQL 路径推理	RDF4J + Linked Open Data	酒店/行程推荐 + 语义问答
智慧旅游服务平台（中国广州）	景区知识图谱/空间本体	Pellet 推理 + Geo-SPARQL	GraphDB + 微服务架构	微信端推荐、旅游路径规划
红色旅游推荐系统（中国湖南）				

如表所示，国外系统在开放本体复用、语义资源共享及多语言支持方面相对成熟，而国内系统更注重场景适配、文化特色融入与多终端协同能力，具备较强的工程化部署能力。

5.4. 小结与启示

旅游语义推荐系统的典型实践表明，本体驱动+语义推理+知识图谱可视化的组合路径，已成为构建智能推荐系统的重要趋势。未来系统应进一步提升如下能力：（1）语义模型的动态演化与自适应构建能力；（2）面向复杂旅游情境的多源融合与个性理解能力；（3）推理结果的可解释呈现与用户反馈闭环优化机制。上述方向为本研究所构建的推荐系统原型设计提供了现实样本与对照依据，也为推进我国旅

游信息服务智能化水平提供了理论借鉴。

6. 结论与展望

随着旅游推荐系统日益朝着智能化、语义化方向发展, 语义 Web 在系统架构中的引入虽有效提升了信息处理的智能水平与语义解释能力, 但也伴随一系列技术难题。主要集中在语义推理计算负载、大规模知识数据管理与用户语义建模复杂性三方面。

6.1. 推理复杂度引发的响应延迟

当前主流语义推荐系统普遍依赖本体驱动的推理机制, 如 OWL 推理、SWRL 规则推理及 SPARQL 语义扩展查询等。然而, 在面对数十万至百万级三元组数据时, 尤其是涉及多条路径的语义链匹配操作, 其时间复杂度呈指数级上升, 导致系统响应时延显著增加, 难以满足旅游业务中对实时性与交互性的需求。推理效率瓶颈已成为制约语义推荐系统推广应用的关键障碍, 需从语义剪枝、规则简化与并发执行优化等维度探索低开销推理策略。

6.2. 数据存储与索引性能瓶颈

旅游语义推荐系统涉及的知识图谱数据来源广泛, 包括景区、酒店、交通、用户兴趣点 (POI) 等异构信息, 需统一转换为 RDF 表示, 并构建语义索引供系统查询与推理使用。在大规模数据集场景下, RDF 图存储 (如 Virtuoso、GraphDB) 虽然提供了本体一致性维护机制, 但其在高频写入、复杂 SPARQL 联结查询下存在性能下滑问题。此外, 现有图存储系统在语义片段化、推理缓存管理与并行查询支持方面尚不完善, 影响了推荐服务的稳定性与扩展性。

6.3. 用户个性化语义建模困难

用户模型的精度直接影响推荐系统的个性化能力。由于旅游用户的兴趣、行为、偏好、意图等属性通常为非结构化数据, 难以直接映射为本体语义概念。即便采用上下文感知机制与行为日志提取方法, 仍难以构建结构完备、动态可演化的用户语义画像。特别是在移动端、社交媒体平台等高频交互环境下, 用户语义建模需兼顾实时性、准确性与隐私保护, 技术难度进一步提升。

为系统梳理上述问题并归纳其关键影响维度, 表 5 呈现当前旅游语义推荐系统面临的典型技术挑战与表现形式。

表 5. 旅游推荐系统面临的关键技术问题分类表

技术挑战类别	表现形式	影响范围	主要原因
推理复杂度高	推荐响应慢、推理延迟	实时性、用户体验	OWL 推理代价高, 规则数量多
数据存储性能瓶颈	SPARQL 查询缓慢、图数据库扩展困难	系统吞吐、数据一致性	RDF 三元组结构冗余, 索引机制不足
用户建模困难	用户意图抽象差、推荐不精准		

7. 未来研究方向

面向语义 Web 的旅游推荐系统, 需在解决现有技术瓶颈基础上, 进一步推动架构演进与智能推荐能力提升。未来研究可从架构重构、计算平台优化与终端智能化方向入手, 提升系统的可维护性、可扩展性与适应性。

7.1. 融合微服务架构提升系统模块化能力

传统推荐系统多采用集中式架构, 不利于组件复用与功能扩展。微服务架构 (Microservice Architecture)

强调“高内聚、低耦合”，具备天然适应模块部署、版本管理、接口解耦的优势。结合语义 Web 技术，可将本体管理、数据查询、推理计算、接口交互等功能模块化部署，提升系统的灵活性与易维护性。

7.2. 云计算与边缘计算支撑的语义处理能力

面对大规模旅游数据与复杂语义推理任务，传统本地计算方式难以满足性能需求。未来推荐系统应探索云计算平台（如 AWS Neptune、Aliyun GraphDB）与边缘计算节点协同处理语义数据的方式，实现语义推理与数据处理的分布式与近端化，提升服务稳定性与低延时能力，尤其适用于游客终端导航与智能导览场景。

7.3. 面向终端的轻量语义服务模型设计

随着移动设备与可穿戴终端广泛普及，推荐服务正从 Web 端转向“端侧智能”部署。如何在终端设备上嵌入轻量级语义解析模块，实现本地规则执行与本体查询，成为语义 Web 应用新课题。研究可引入本地缓存规则引擎、小型 RDF 图嵌入模型及对话式语义解释模块等技术路径，提升推荐系统的实时交互性与用户体验。上述方向将共同推动语义推荐系统从“静态构建”向“动态智能演化”转型。

为系统梳理未来架构发展脉络，表 6 概括了主要研究趋势、技术路径与预期突破点。

表 6. 未来语义推荐系统架构演化趋势梳理表

研究方向	技术路径	当前瓶颈	预期突破
微服务架构融合	模块拆分 + 统一服务注册	系统耦合高、维护成本大	接口自治、可组合性增强
云/边缘语义处理	分布式 SPARQL + 边缘推理缓存	推理延迟、平台适配难	实时语义服务能力增强
移动端轻量语义服务	嵌入式本体解析器 + 本地规则引擎	算力有限、内存受限	小模型语义解释 + 快速加载机制

8. 结论

本研究围绕“基于语义 Web 的旅游推荐系统架构与实现”这一核心议题，系统梳理了旅游推荐系统在体系结构、核心技术、平台实现与未来演进等方面的研究现状与发展趋势。通过对语义 Web 关键要素（包括 RDF、OWL、本体建模、推理机制）与推荐系统架构的深度结合分析，明确了语义增强对于提升系统智能性、个性化水平及可解释性的关键价值。在结构设计方面，文章提出了以数据层、本体层、推理层与应用层为核心的分层语义推荐系统模型，强调各层之间的语义解耦与功能协同。在系统实现方面，深入探讨了 SPARQL 查询、推理引擎（如 Pellet、Hermit）、接口服务等核心技术组件，并通过对典型语义推荐系统案例（如 SWTOUR）对比分析，归纳出架构设计中的实践经验。针对目前存在的推理复杂度高、用户语义建模难、系统性能优化不足等问题，研究进一步提出了基于微服务架构、边缘计算、移动端轻量化语义服务等未来发展方向，力图为后续旅游智能系统建设提供可落地的技术路径与理论参考。

综上所述，语义 Web 的引入不仅是对传统推荐系统的一次范式升级，更为旅游信息服务系统的精准化、智能化、解释化提供了理论支撑与方法基础。后续研究应进一步推进语义资源的标准化构建、推理算法的高效执行以及用户互动体验的优化，不断拓展语义推荐系统在智慧旅游、文化传播与个性服务等领域的实际应用边界。

致 谢

本研究工作得到了广东省教育厅计划国内访学项目的有力支持，特此致以诚挚感谢。访学期间，惠州学院（服务单位）和暨南大学（访学单位）为本人提供了良好的学术环境与周到的行政保障，切实保障了课题研究的顺利开展与阶段目标的如期实现。在此，谨向在本研究过程中给予悉心指导与无私帮助

的各级领导、专家学者及相关工作人员表示衷心感谢。

基金项目

本研究获惠州学院横向科研项目【惠东非遗展示馆运营技术服务】（项目编号：18-35900259094），惠州学院高等教育教学改革项目【惠州学院旅游管理专业国际化人才培养路径研究】（项目编号：17-1702242054），惠州市哲学社会科学规划项目【从‘两创’到‘数创’：人工智能驱动下岭南书院文化赋能惠州‘大湾区文化高地’建设路径研究】（项目编号：HZSK2025GJ151/2025ZX114）共同资助。

参考文献

- [1] Ricci, F., Rokach, L., & Shapira, B. (2010). Introduction to recommender systems handbook. In *Recommender systems handbook* (pp. 1-35). Boston, MA: springer US.
- [2] Berners-Lee, T., Hendler, J., & Lassila, O. (2023). The Semantic Web: A new form of Web content that is meaningful to computers will unleash a revolution of new possibilities. In *Linking the world's information: essays on Tim Berners-Lee's invention of the World Wide Web* (pp. 91-103).
- [3] Davoodi, E., Kianmehr, K., & Afsharchi, M. (2013). A semantic social network-based expert recommender system. *Applied intelligence*, 39(1), 1-13.
- [4] Hossain, M. D., Azam, M. S., Ali, M. J., & Sabit, H. (2020, December). Drugs rating generation and recommendation from sentiment analysis of drug reviews using machine learning. In *2020 Emerging Technology in Computing, Communication and Electronics (ETCCE)* (pp. 1-6). IEEE.
- [5] Abbas, F. (2022). Improving Diversity in Conversational Recipe Recommender through Dynamic Critiquing (Doctoral dissertation, The University of North Carolina at Charlotte).
- [6] Rehman Khan, H. U., Lim, C. K., Ahmed, M. F., Tan, K. L., & Bin Mokhtar, M. (2021). Systematic review of contextual suggestion and recommendation systems for sustainable e-tourism. *Sustainability*, 13(15), 8141.
- [7] Wilson, R. S. I., Goonetillake, J. S., Indika, W. A., & Ginige, A. (2023). A conceptual model for ontology quality assessment: A systematic review. *Semantic Web*, 14(6), 1051-1097.
- [8] Michel, F., Djimenou, L., Zucker, C. F., & Montagnat, J. (2015, October). Translation of relational and non-relational databases into RDF with xR2RML. In *11th International Conference on Web Information Systems and Technologies (WEBIST'15)* (pp. 443-454).
- [9] Gruber, T. R. (1993). A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge acquisition*, 5(2), 199-220.
- [10] Secchi, L. (2024). Knowledge graphs and large language models for intelligent applications in the tourism domain.
- [11] Motik, B., Shearer, R., & Horrocks, I. (2009). Hypertableau reasoning for description logics. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 36, 165-228.
- [12] Angele, K., Fensel, D., Huaman, E., Kärle, E., Panasiuk, O., Şimşek, U., ... & Wahler, A. (2020). Semantic Web empowered E-tourism. In *Handbook of e-Tourism* (pp. 1-46). Cham: Springer International Publishing.