

面向人机交互的建筑方案设计知识系统架构与研发初探

齐奕¹, 屈永博², 张浩然³

摘要: 人工智能与建筑学的交叉领域研究已成为建筑学的前沿研究方向, 这为建筑设计知识的研究提供了全新的发展机遇。在建筑设计尤其是医院建筑等复杂公共建筑设计过程中, 建筑师需要查询大量碎片化知识, 并耗费时间精力进行理解, 这一过程显著降低建筑师设计效率。针对此问题, 本研究探讨了建筑方案设计知识需求及获取难点, 分析了建筑方案设计知识的特征特性, 基于大语言模型相关技术, 提出了符合建筑师、行业专家、建设单位等利益相关方使用习惯的建筑方案设计知识系统架构, 并基于医疗建筑具体场景进行实验验证。本研究降低了建筑师对海量碎片化设计知识的查询、理解门槛, 提高了设计效率、质量与决策科学性, 为建筑数字化转型提供了理论和实验依据。

关键词: 人工智能; 大语言模型; 人机交互; 建筑设计知识系统; 问答系统;

Keywords: Artificial Intelligence; LLM; Human-Computer Interaction; Architectural Design Knowledge Base; Question Answering System;

资助项目情况: 国家自然科学基金面上项目 (52378024); 国家重点研发计划子课题 (2023YFC3807405-3); 广东省自然科学基金面上项目 (2024A1515010839)

引言

人类始终追求更高效、精确的知识获取方式, 这是社会生产活动中至关重要的环节, 在建筑设计领域也不例外。自 20 世纪 60 年代计算机科学兴起以来, 人工智能技术的飞速发展, 为知识获取提供了新的途径。知识获取方式伴随技术的不断革新经历了从早期的专家系统, 到互联网时代的联网搜索, 直至当前基于生成式大模型的人工智能问答系统多个发展阶段。2022 年以来, 生成式大模型在知识理解和生成方面实现了重大突破, 目前已成为知识问答系统研究领域的一个重要方向^[1], 也为建筑方案设计领域知识的获取模式提供了新的可能性。

1 建筑方案设计知识系统与人工智能的融合探索

建筑方案设计知识系统是面向建筑师、建筑科研者及其他相关人员的建筑方案设计知识查询问答系统, 是建筑设计知识的获取方式、处理方法与知识数据的集合, 是辅助建筑师快速获取建筑设计所需知识的模式。随着生成式人工智能的飞速发展, 国内外高校及相关的研究机构正积极推动建筑知识与生成式人工智能的融合, 探索构建基于生成式人工智能的建筑知识系统。

¹ 齐奕 (✉), 深圳大学建筑与城市规划学院、亚热带建筑与城市科学全国重点实验室, 副教授, qiyi@szu.edu.cn

² 屈永博, 深圳大学建筑与城市规划学院

³ 张浩然, 深圳大学建筑与城市规划学院

在建筑知识与人工智能的交叉融合理论研究中，重点聚焦于人工智能技术与建筑知识的融合模式。在国内，袁锋提出了建筑知识体系模型架构范式，强调了建筑知识是 AI 与建筑设计的联系桥梁^[2]。袁潮等探索了生成式人工智能影响下的建筑设计新范式，进行了建筑师与 AI 的关系思辨，提出了建筑师与 AI 交互的三种模式^[3]。吕军等探讨了建筑行业多源知识融合及检索中的重要问题^[4]。陆新征等探索了建筑工程知识中的大语言模型应用模式^[5]。在国外，丹妮拉·马图夫 (Daniela Martuff) 等研究了将建筑设计知识整合到神经网络之中的方式^[6]。托马斯·迪索 (Thomas Dissaux) 探究了建筑知识搜索系统对参数化建筑设计的影响^[7]。内尔门·穆罕默德·马特 (Nermen M. Matter) 等提出了一个整合人工智能及其模式的建筑设计架构，其中重要一点就是利用人工智能进行建筑知识系统的构建^[8]。

在建筑知识与人工智能的交叉融合应用实践中，产学研三方基于建筑知识探索设计行业提质增效的新模式。在国内，同济大学联合一造科技构建了 FUGenerator，结合建筑效果图知识数据，打造了从概念阶段赋能建筑与艺术灵感生成的人工智能云设计平台；东南大学集成了参数化建模、量化指标计算及 AI 图像生成，构建了 ArchiWeb 平台；深圳市规划国土发展研究中心基于大语言模型构建了规划知识问答系统^[9]。AAE 建筑自编码小组创立的生境科技专注于家装行业知识，构建了家装设计场景的知识系统；小库科技针对建筑设计场景构建了图文知识平台，并探索了基于人工智能的设计方法^[10]。在国外，蓝天组开展了 deep himmelblau 研究，将人工智能与建筑实践交叉融合。Finch 公司基于建筑知识开发了一系列建筑平面生成和优化工具。Swapp 公司开发了生成建筑施工文档和 BIM 模型的系统，简化了建筑师工作流程。国内外建筑科技公司，基于建筑知识探索人工智能在建筑方面的提质增效方式。

现阶段建筑设计与人工智能的深度结合，建筑知识的探索是不可或缺的。众多专家学者在已经在该领域进行了深入探索。然而，基于建筑设计知识本体数据的分析，构建相应建筑知识系统的探索仍存在不足。

2 建筑方案设计知识需求及获取难点分析

建筑方案设计是融合并转译建筑知识与外部信息的过程。由于建筑项目的类型繁多且知识体系繁杂，建筑师的个人知识储备通常难以全面满足项目设计需求，致使在设计过程中建筑师需投入大量时间进行多次的知识的查询与融合。

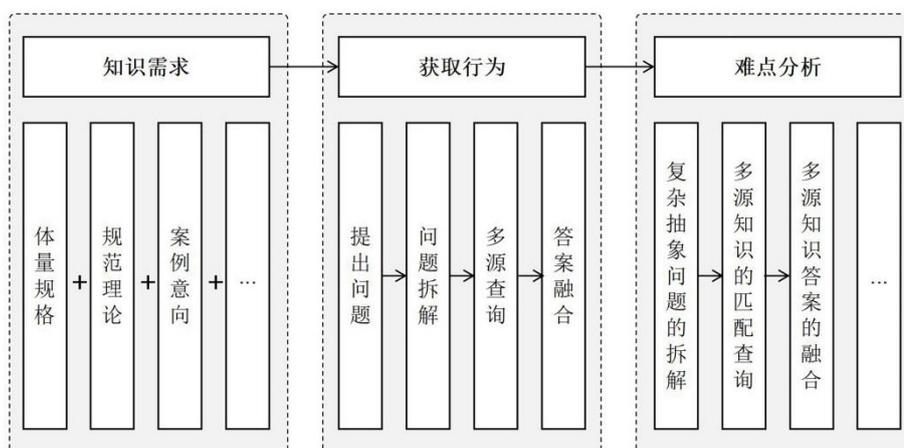


图 1：建筑方案设计知识需求及获取行为分析（作者自绘）

建筑方案设计的知识需求分析（图 1）。建筑师在建筑方案设计阶段，需要体量规格、规范理论、案例意向三大类建筑信息。体量规格信息包括建筑的物理尺寸、空间组织、密度、层数、朝向、间距等建筑实际需求；规范理论信息包含指导建筑设计标准与法规，是建筑设计需要遵循的条例；案例意向信息主要包括建筑的空间意向、形态意向、文化意向等描述建筑“感觉”的知识信息，反映着对建筑建成效果的期望。建筑师在方案设计过程中需将以上信息有机融合，构建功能流线合理且空间需求适配的建筑单体。

建筑方案设计的知识获取行为分析（图 1）。在建筑方案设计阶段，建筑师需要综合多类信息协同进行设计，所提出的问题通常具有高度的复杂性与抽象性。经验丰富的建筑设计师可将所提出的复杂问题递归拆解与分类，并将所得的单一的问题与查询方式匹配进行查询，多个问题查询所得的答案依靠建筑师自身经验进行知识融合，以指导后续的设计决策。这一知识的查询流程耗时且步骤繁琐，尤其对于初入行业的建筑设计师而言，问题拆解与答案融合尤为具有挑战性，查询方式的适应性与答案的可靠性也不能保障，这一过程直接关系到设计工作的效率与质量。

建筑方案设计知识获取难点分析（图 1）。在知识分散、问题复杂性高的建筑方案设计知识领域，知识获取的效率及质量直接影响建筑方案设计的成果，其中建筑师知识获取的难点主要包括复杂抽象问题的拆解、多源知识的精准匹配查询、多源知识答案的融合三个部分。得益于大语言模型的诞生与发展，可利用大语言模型的知识理解与融合生成能力将复杂问题拆解为单一具体的问题、在问题与查询渠道之间建立灵活连接、将搜集的多源知识进行融合与生成。

3 建筑方案设计知识分析及特性分类

建筑方案设计知识是设计过程中不可或缺的关键信息，针对其数据属性进行深入探究，理清数据来源、数据特征并进行数据分类（图 2），是确保建筑方案设计知识系统数据有效处理和召回的重要步骤。

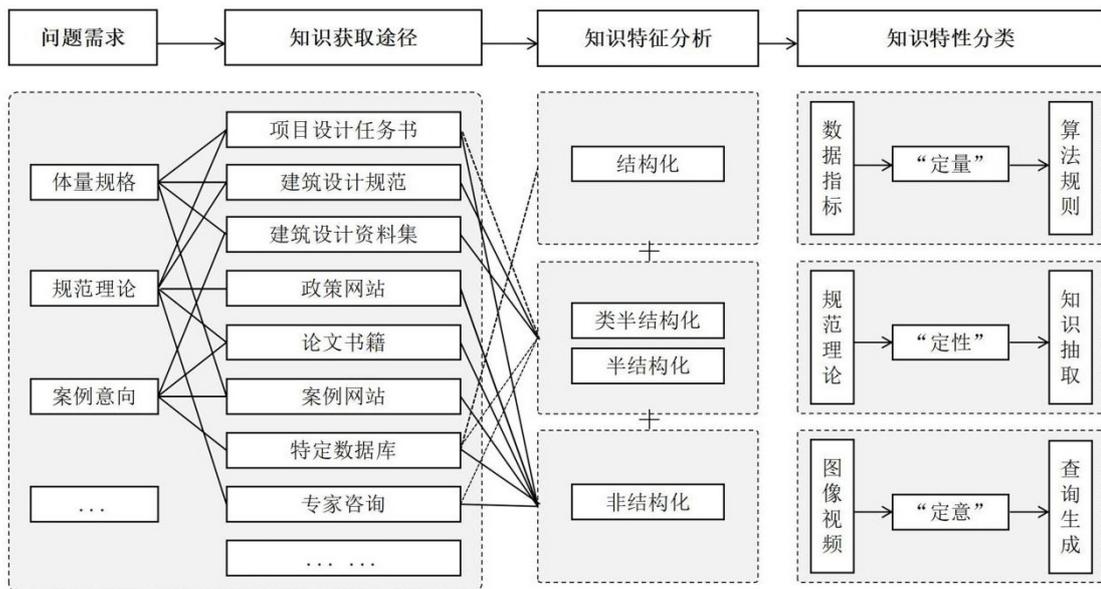


图 2：建筑方案设计知识获取分析及特征、特性分类（作者自绘）

建筑方案设计知识获取途径。对于递归拆分后的单一建筑方案设计问题，根据建筑师知识获取的不同需求，进行知识答案的检索。体量规格知识通常依据项目设计任务书，结合规范和资料集进行知识答案的查询与计算。规范理论知识主要通过规范文本、政策网站、论文书籍等获取规范条例与理论知识。案例意向知识通过网站网页、资料集、出版物等进行图文信息的查询。此外，对于某些特殊或高度专业性知识的获取，可能需要访问特定的数据库或向领域专家咨询。建筑方案设计知识获取的渠道多样，需要根据问题的性质及需求，选择合适的信息源和检索工具，以确保获取知识的全面与准确。

建筑方案设计知识特征分析。建筑师常用的知识获取途径主要包括规范文本、设计资料集、论文书籍、网页查询等，各类查询方法所获得的知识数据具有不同的特征。规范文本数据主要包括严格分点的文本段落及表格，数据呈现出半结构化特征。设计资料集涵盖了按建筑类型分类整理的文本、表格、流程图、气泡图以及部分的案例图像，数据结构复杂，但整体分类分点清晰，呈现出类半结构化特征。论文书籍主要包括文本和图像两种数据类型，其排版多样且文本知识复杂性较高，大多依照主题进行大段落的分块，属于非结构化数据。网页查询所得数据主要包含文本和图像，部分可能包含视频文件，其质量和内容难以得到保障，属于非结构化数据。建筑知识数据多以半结构化或非结构化形式存在，这增加了高效阅读和理解的难度，对建筑师在信息处理方面提出了挑战。

建筑设计知识类型分类。建筑师在方案设计阶段的常见建筑知识根据其数据类型与应用方式，可划分为数据指标类知识、规范理论类知识、图像视频类知识。数据指标类知识涉及建筑领域中的数学计算，是建筑“定量”的重要部分，其可以转译为算法规则进行计算。规范理论类知识是建筑设计的重要理论依据，是建筑“定性”的重要部分，包含丰富的文本内容，可通过人工智能技术进行数据知识的抽取与融合生成。图像视频类知识是建筑知识信息的直观表现形式，是建筑空间、设计成果的传播媒介，是建筑“定意”的重要部分，主要包含着案例空间意向图、效果展示视频、建筑分析图等展现建筑空间构成的知识，除了直接查询呈现外，随着图像生成技术的进步，可以定制生成符合用户描述的建筑空间图像。

4 建筑方案设计知识系统架构设计

通过对建筑方案设计知识的需求、特征、类型分析，结合建筑师的实际使用习惯，本文提出基于查询智能体的人机交互建筑方案设计知识获取模式及基于意图识别的多源建筑知识协同查询机制，构建建筑方案设计知识系统架构。

基于查询智能体的人机交互建筑方案设计知识获取模式（图3）。传统上通过关键词进行知识检索，人工挑选搜索结果中的有效部分，并依照经验进行知识融合的建筑师知识检索模式，不仅耗时且效率低下，还要求建筑师自身具备较高的专业素养。得益于大语言模型的发展和相关技术研究的进步，以自然语言对话进行知识查询的人机互动模式在多个领域取得了巨大成功，并得到了现实应用。受资深建筑师问题检索模式启发，构建建筑师的智能知识查询助手（LLM Agent），将其作为人机自然语言对话交互媒介，并赋予其知识答案获取、知识融合生成等能力，可以使建

筑师快速高效进行知识查询，并辅助建筑师进行知识的理解，更符合当下建筑师的使用习惯。

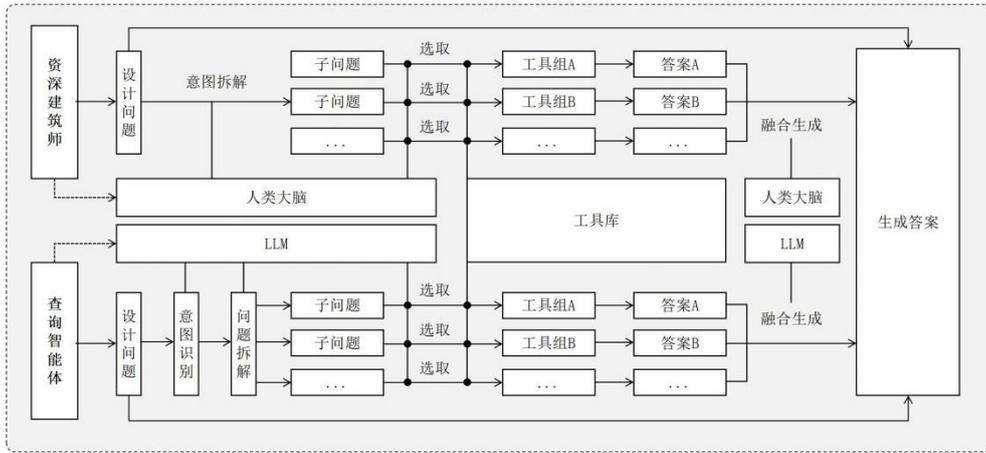


图 3：基于查询智能体的人机交互建筑方案设计知识获取模式(作者自绘)

基于意图识别的多源建筑知识协同查询机制（图 4）。在方案设计阶段，建筑师所提出的问题往往具有高度复杂性与抽象性，受资深建筑师问题拆解过程的启发，将基于大语言模型的问题拆分、意图理解能力的意图识别引入问题查询处理阶段。该过程结合提示词工程技术，将较为复杂的问题拆解为单一且明确的问题，并为其匹配合适的查询机制，进而进行多源并行查询。在各单一问题检索结果获取后，为保障其与原用户意图的相关性，将各检索结果与用户原始问题及对应拆分的子问题进行向量相关性分数计算，筛选出大于设定阈值的知识检索答案作为初步结果。鉴于初步检索结果数量众多且为非结构化知识，建筑师直接阅读理解存在难度，因此综合利用大语言模型知识融合生成能力，将分散且碎片化的知识进行知识融合与重组织，最终生成易于建筑师阅读的知识检索结果。

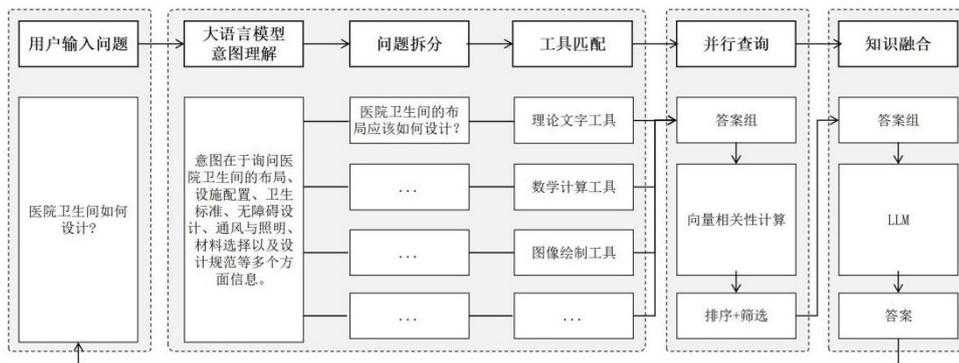


图 4：基于意图识别的多源建筑知识协同查询机制（作者自绘）

建筑方案设计知识系统的架构设计。结合对话式人机交互模式，多源建筑知识协同查询机制，构建建筑设计知识系统架构。其主要由人机对话交互模块、智能意图识别模块、知识协同查询模块、智能数据处理模块、图文数据储存及管理模块共同组成（图 5）。

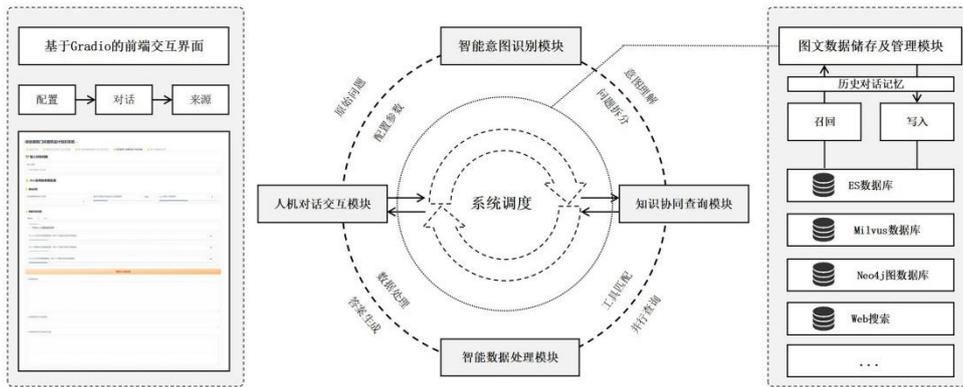


图 5: 建筑方案设计知识系统的架构 (作者自绘)

人机对话交互模块支持图文信息的多轮对话，并根据用户的反馈优化更新查询结果，提供简洁的交互界面。意图识别模块将建筑师的复杂问题转化为简单且目标明确的单一问题，并分配对应的知识查询方式。知识协同查询模块将单一问题与对应的查询工具、处理算法相匹配进行并行知识检索与数据处理；其中数据指标型问题可采用规则编码的匹配模式、规范理论型问题采用检索增强生成的处理方法、需加工创作生成的图像型知识可采用以扩散模型为基础的图像知识生成方法，各个方法通过调用与之适配的数据库或网页进行外部知识信息的收集获取；此外，该模块提供简单易用的扩展接口，以便根据需求对新知识类型查询方式的构建（图 6）。智能数据处理模块将查询到的数据进行加工及相关性排序，进而融合生成最终答案。图文数据存储及管理模块负责处理外部数据，并管理各类型数据库及读写方法；外部数据处理是将半结构化、非结构化的建筑知识数据分类清洗写入各数据库之中；其中，针对空间图像的数据可采用 Lora 训练的方式进行知识储存；该模块所管理的数据库包括 ES 数据库、Milvus 向量数据库、Neo4j 图数据库以及网页实时查询的接口等。通过各个模块的协同作用，建筑设计知识系统以简单、易用的对话式交互界面，完成复杂、多源的知识处理、检索、融合生成的工作。

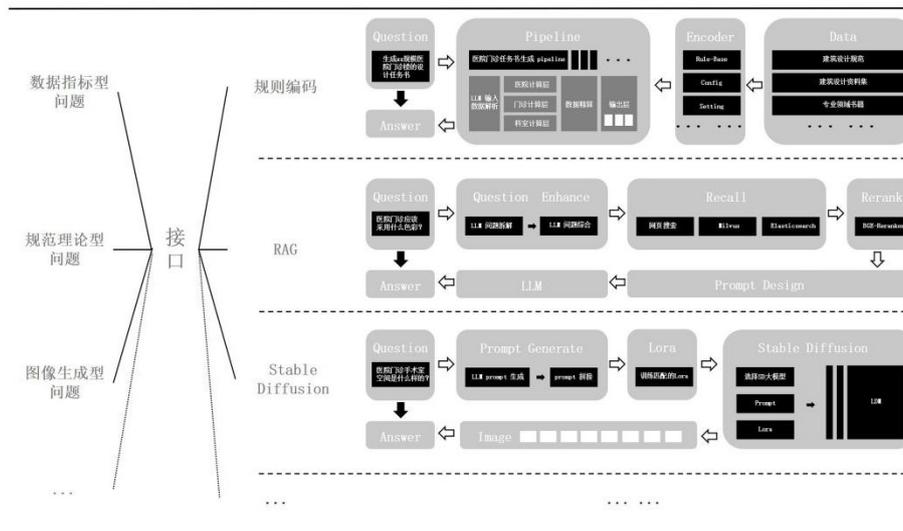


图 6: 知识协同查询模块数据指标、规范理论、图像生成查询处理机制 (作者自绘)

5 医院建筑方案设计知识系统构建实验

相较于传统的建筑设计，医院建筑设计因其功能流线复杂、专业知识繁多、知识更新较快，是建筑设计知识最为复杂的类型之一，对相关设计知识的获取也提出了更高的要求。笔者基于多个闭源大模型及 Gradio 框架构建了对话式人机交互模块。基于大语言模型及提示词工程技术构建了意图识别模块。通过对医院门诊建筑方案设计知识的了解，构建医院门诊知识协同查询模块及智能数据处理模块；其中，梳理医院门诊指标计算逻辑与规范要求，构建了医院门诊建筑数据指标类知识处理及生成方法；收集了收集 200 篇期刊论文、134 篇学位论文以及相关规范及资料集，构建了医院门诊规范理论类知识数据库及处理方法；收集医院门诊大厅、治疗室等空间图像，并进行针对性图像打标及 Lora 训练，构建了医院门诊空间图像数据知识处理方法。基于 ES、Milvus、Neo4j 数据库及 Web 查询接口构建了图文数据储存及管理模块。通过对话式人机交互模块、意图识别模块、知识协同查询模块、智能数据处理模块、图文数据储存及管理模块的建立，综合运用 Kimi、文心一言、Deepseek 等大模型接口及 diffusers 库，构建了医院建筑设计知识系统（图 7）。

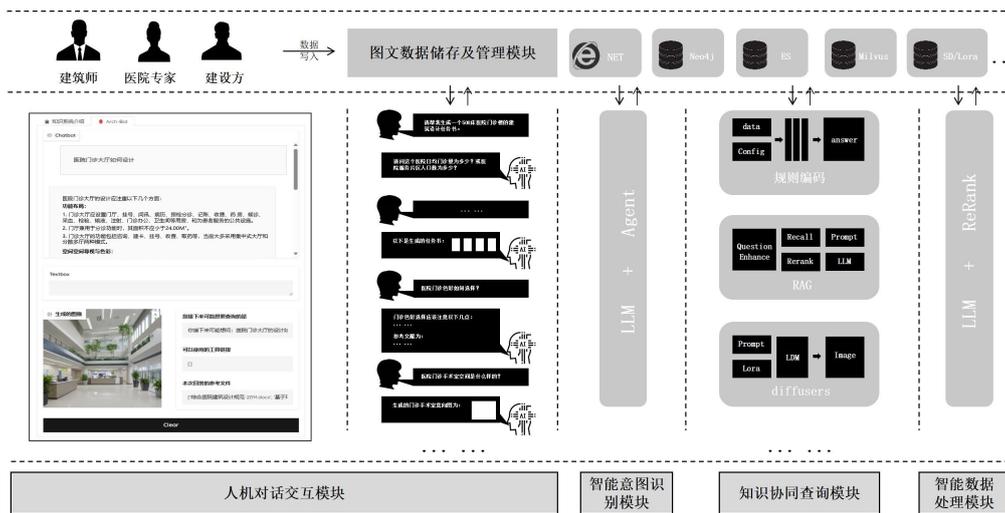


图 7：医院建筑方案设计知识系统（作者自绘）

医院建筑方案设计知识系统能够快速高效的进行多源的信息检索，并可返回图文模态的信息，提高了建筑师知识获取的效率。但目前所构建的医院建筑方案设计知识系统中，数据库中部分知识的清洗及处理还不完善，意图识别及检索生成效率、质量还有待提升，再往后的工作中仍需进一步优化。

6 结语

本研究提出的建筑方案设计知识系统，能够准确识别建筑师问题需求，进行多路精确检索，融合多源知识并以更易理解的方式呈现给建筑师，大幅提高建筑师知识检索的效率。尽管目前生成式人工智能在建筑知识系统的研究尚处于起步阶段，但探索基于人工智能的建筑设计知识获取方式，对建筑设计与人工智能的交叉融合，乃至设计智能体（Agent）的研究均具有基础构建的重要意义。

参考文献:

- [1] 齐思洋, 胡慧云, 李洪冰, 等. 融合大语言模型的领域问答系统构建方法[J/OL]. 北京邮电大学学报, 1-7[2024-08-20].
- [2] 袁烽, 许心慧, 王月阳. 走向生成式人工智能增强设计时代[J]. 建筑学报, 2023, (10):14-20.
- [3] 袁潮, 郑豪. 生成式人工智能影响下的建筑设计新模式[J]. 建筑学报, 2023, (10):29-35.
- [4] 吕军. 人工智能大模型在智能建筑领域的应用[J]. 智能建筑与智慧城市, 2024, (07):6-8.
- [5] 覃思中, 郑哲, 顾燚, 等. 大语言模型在建筑工程中的应用测试与讨论[J]. 工业建筑, 2023, 53(09):162-169.
- [6] Martuffi, D., Soza, P., & Garcia, R. (2023). Towards the use of artificial neural networks in the early stages of architectural design processes: Integrating architect's declarative domain knowledge into ANN. In Accelerated Landscapes | Centro Universitario Regional Este (CURE), Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de la República. SIGraDi 2023.
- [7] Dissaux T, Jancart S. The Impact of procedural knowledge retrieval on the architectural design process in parametric design environments[C]//International Conference on-Design Computing and Cognition. Cham: Springer International Publishing, 2022: 681-697.
- [8] M Matter N, G Gado N. Artificial Intelligence in Architecture: Integration into Architectural Design Process[J]. Engineering Research Journal, 2024, 181: 1-16.
- [9] 林勇军. 基于大语言模型的本地规划知识智能问答系统研究与应用实践[J/OL]. 自然资源信息化, 1-9[2024-08-20].
- [10] 何宛余, 杨良崧. 生成式人工智能在建筑设计领域的探索——以小库 AI 云为例[J]. 建筑学报, 2023, (10):36-41.