

数字孪生黄河知识平台建设初探

祝宾皓^{1 2 3} 夏润亮⁴ 李 涛^{1 2 3} 吴 丹^{1 2 3} 丁昱凯⁴ 李 冰^{1 2 3}

(1. 黄河水利委员会 黄河水利科学研究院 河南 郑州 450003; 2. 黄河实验室 河南 郑州 450003;
3. 河南省智慧水利工程技术研究中心 河南 郑州 450003; 4. 水利部 信息中心 北京 100053)

摘 要: 为提升黄河流域水利业务决策效率与智能化水平, 引入大语言模型(LLM) 与知识图谱技术, 构建数字孪生黄河知识平台。针对传统知识图谱在动态业务场景中存在的知识存储静态化、非结构化数据处理能力不足等问题, 提出基于 LLM 的水利知识问答机制与模型调用机制, 研发文档办公助手、防洪“四预”助手、历史场景匹配、知识检索等功能; 提出加权统计自适应距离计算方法, 减少多属性相似度匹配中量纲差异与极值干扰问题。实际应用情况表明, 该平台显著提升了防洪决策响应速度与历史场景匹配精度, 水文模型调用准确率由 43% 提升至 72%, 距离域由 500.00~4 100.00 减小至 0.48~0.72, 可为黄河流域水利业务决策提供高效、可靠的知识服务支撑。

关键词: 知识平台; 大语言模型; 知识图谱; 历史场景匹配; 数字孪生黄河

中图分类号: TP393; TV882.1 文献标志码: A doi: 10.3969/j.issn.1000-1379.2025.08.007

引用格式: 祝宾皓, 夏润亮, 李涛, 等. 数字孪生黄河知识平台建设初探[J]. 人民黄河, 2025, 47(8): 32-38.

Preliminary Study on the Construction of the Digital Twin Yellow River Knowledge Platform

ZHU Binhao^{1 2 3}, XIA Runliang⁴, LI Tao^{1 2 3}, WU Dan^{1 2 3}, DING Yukai⁴, LI Bing^{1 2 3}

(1. Yellow River Institute of Hydraulic Research, YRCC, Zhengzhou 450003, China; 2. Yellow River Laboratory, Zhengzhou 450003, China; 3. Engineering Technology Research Center of Henan Province Smart Water Conservancy, Zhengzhou 450003, China;
4. Information Center, Ministry of Water Resources, Beijing 100053, China)

Abstract: In order to improve the efficiency and intelligence level of water resources business decision-making in the Yellow River Basin, this study introduced large language model (LLM) and knowledge graph technology to build digital twin Yellow River knowledge platform. Aiming at the issues of static knowledge storage, insufficient ability to process unstructured data in dynamic business scenarios of traditional knowledge graphs, a water conservancy knowledge question answering mechanism and model calling mechanism based on LLM were proposed, and functions such as document office assistant, flood prevention “four pre” assistants, historical scene matching and knowledge retrieval were developed. A weighted statistical adaptive distance calculation method was proposed to reduce the issues of dimensional differences and extreme value interference in multi-attribute similarity matching. Practical application shows that the platform significantly improves the response speed of flood control decisions and the accuracy of historical scene matching. The accuracy of hydrological model calls increase from 43% to 72%, and the distance domain is compressed from 500.00-4 100.00 to 0.48-0.72, providing efficient and reliable knowledge service support for business decision-making in the Yellow River Basin.

Key words: knowledge platform; Large Language Model; knowledge graph; historical scene matching; digital twin Yellow River

0 引言

随着计算机科学技术的发展, 新一批人工智能技术为黄河流域精准决策提供了支撑。当前, 知识平台的表现形式以图谱为主, 旨在实现知识的抽取、存储和查询, 进而支持业务决策。尽管知识图谱在一定程度上解决了信息孤岛问题, 并通过结构化形式整合了大量专业知识, 但在实际应用中仍然面临一些挑战。一方面, 基于知识图谱的业务功能往往侧重于知识存储静态化和简单查询, 不能有机结合现有系统, 难以应对复杂多变的实际业务场景; 另一方面, 传统的知识图谱在处理非结构化数据、理解上下文语境以及生成高质量文本等方面能力有限。近年来, 大语言模型(LLM)

的发展为知识管理和业务决策带来了革命性变化。这类模型通过对海量文本数据的学习, 具备强大的语言理解和生成能力, 有望与现有数字孪生平台深度耦合, 处理各种复杂的自然语言^[1-4]。

收稿日期: 2025-01-13 修回日期: 2025-04-20
基金项目: 国家重点研发计划项目(2023YFC3209203, 2023YFC3209305); 国家自然科学基金资助项目(U2453320); 黄河水利科学研究院基本科研业务费专项(HKY-JBYW-2024-12, HKY-YF-2024-05, HKY-JBYW-2023-20, HKY-JBYW-2025-17); 青海省基础研究计划项目(2025-ZJ-721)
作者简介: 祝宾皓(2000—), 男, 河南濮阳人, 硕士, 主要从事水利信息化与水文预报研究工作
通信作者: 夏润亮(1984—), 男, 河南郑州人, 正高级工程师, 博士, 主要从事河流数值模拟与水利信息化研究工作
E-mail: 147328267@qq.com

笔者针对黄河流域水利业务决策的需求及难点,结合大语言模型和知识图谱,提出水利知识问答机制和水利模型调用机制,构建数字孪生黄河知识平台,研发文档办公助手、防洪“四预”助手、历史场景匹配、知识检索等功能,以期为流域水利日常业务工作和应急决策提供高质量知识服务,提升业务信息化水平。

1 平台建设架构

数字孪生黄河知识平台的建设面向流域水利核心业务问题,基于水利大模型^[5-6]的通用框架,按照“1+7+X”模式打造标准统一、接口规范、具有黄河特色的知识平台。该平台核心是集水利信息智能处理、知识资源高效运营及场景化智慧应用为一体的综合性智能体系。通过知识引擎向流域重要业务应用提供规则、历史场景和专家经验等知识支撑,全面支撑和提升“2+N”智能业务的研判精准化和决策科学化;推动物理流域与数字孪生流域的深度融合,实现业务流程自动化,提升流域管理的整体效能;借助持续学习与进化机制,确保知识平台能够随业务需求和技术进步不断自我完善,保持服务的前瞻性和领先性;确保平台的高可用性和用户友好性,使专业人员和公众都能便捷地获取所需信息与服务。数字孪生黄河知识平台架构如图 1 所示。

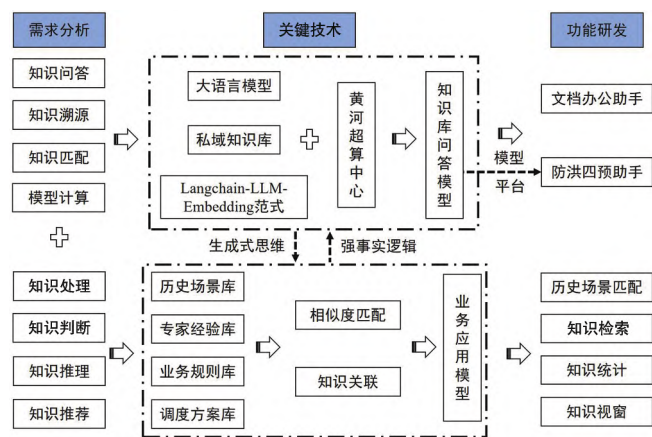


图 1 数字孪生黄河知识平台架构

Fig.1 Architecture of Digital Twin Yellow River Knowledge Platform
平台架构设计分为需求分析、关键技术和功能研发。该平台采用 Langchain-LLM-Embedding 范式,搭建私域知识库,将大语言模型部署在黄河超算中心高性能计算集群,建设能够快速响应的知识库问答模型。建立历史场景库、专家经验库、业务规则库和调度方案库,基于此构建“实体(属性)-关系-实体(属性)”的多种知识关联模式,开发基于历史场景特征值的多属性相似度匹配模块,建设可为防汛决策提供历史知识的业务应用模型。基于大语言模型和知识图谱建设,研发文档办公助手、防洪“四预”助手、历史场景匹配

等功能,形成一套完整的知识处理和应用框架。

2 关键技术研究

2.1 LLM 原理

LLM 通常基于 Transformer 构建,Transformer 采用编码器-解码器(Encoder-Decoder)结构,输入数据经过多层编码器之后输出到每层解码器,进而计算注意力。Transformer 结构如图 2 所示。

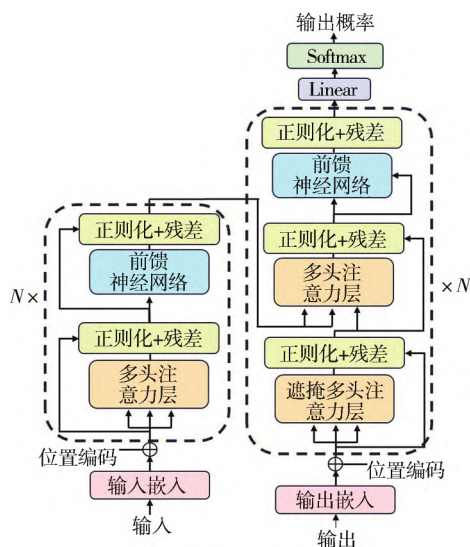


图 2 Transformer 结构

Fig.2 Transformer Architecture

Transformer 运行流程如下:首先,通过单词嵌入算法将输入句子转换为向量,使用位置编码获取单词位置向量,两者相加获得模型输入;其次,将单词位置向量矩阵传入编码器,经过多头注意力层,进入前馈神经网络,将输出传递到下一个编码器;再次,经过 N 个编码器后得到句子所有单词的编码信息矩阵,将矩阵分别传递到 6 个解码器,此时解码器的输入来自编码器的输出和前一个解码器的输出,矩阵在每个编码器中依次经过遮掩多头注意力层、多头注意力层、前馈神经网络;最后,解码器的输出通过线性层(Linear)之后,由 Softmax 层转化为概率作为最终输出。

位置编码 P 表达式为

$$P_{s,2i} = \sin(s/10000^{2i/d}) \quad (1)$$

$$P_{s,2i+1} = \cos(s/10000^{2i/d}) \quad (2)$$

式中: s 为单词在句子中的位置; d 为位置编码的维度; $2i$ 为位置编码偶数维度; $2i+1$ 为位置编码奇数维度。

注意力 A 计算公式如下:

$$A(Q, K, V) = \text{Softmax}\left(\frac{QK^T}{\sqrt{d_k}}\right)V \quad (3)$$

式中: Q 为查询矩阵; K 为键矩阵; V 为值矩阵;Softmax 为归一化指数函数,用于计算注意力权重,加权聚合 V ; $\sqrt{d_k}$ 为缩放点积因子,用于防止梯度消失。

2.2 基于 LLM 的水利知识问答机制

为了简化业务人员对日常大量文档的处理工作,发挥大语言模型在自然语言交互和文档处理领域的优势,研究基于 LLM 的水利知识问答机制,引入 Langchain-LLM-Embedding 范式,实现基于私域知识库的文档问答功能,用户新建个人知识库并上传相关文档后,可以借助大语言模型的自然语言交互能力进行多轮水利知识问答。

知识库问答模型是基于大语言模型和嵌入向量研发的,它由本地文档加载器、文本分割器、文本块、提问向量生成、向量相似度排序和回答等组成。这种结构的优点是能够有效处理大量非结构化文本信息,并通过向量表示和相似度计算找到最佳答案;同时大语言模型的参与使得回答质量更高,可以从全局视角考虑问题,而不是局限于单个文本块内容。知识库问答模型旨在提供一个高效、准确的问答服务,以满足用户对黄河流域水利相关知识的需求。知识库问答模型的技术路线如图 3 所示。

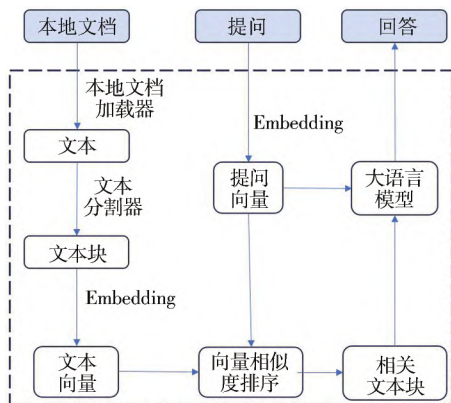


图 3 知识库问答模型的技术路线
Fig.3 Technical Roadmap for Knowledge Base Question Answering Model

向量相似度 S 计算公式为

$$S(v_1, v_2) = \frac{v_1 \cdot v_2}{\|v_1\| \|v_2\|} \quad (4)$$

式中: $v_1 \cdot v_2$ 为向量 v_1 和 v_2 的点积; $\|v_1\|$ 和 $\|v_2\|$ 分别为向量 v_1 和 v_2 的长度; $S(v_1, v_2)$ 取值范围 $[-1, 1]$, 值越接近 1 表示两个向量越相似。

2.3 考虑 LLM 微调的水利模型调用机制

水利模型的计算结果是水利知识的重要来源之一,高效能的水利模型可有效促进知识平台与模型平台的耦合^[7]。为此,建设考虑 LLM 微调的水利模型调用机制,引入 P-Tuning 技术对 chatglm3-6b 大语言模型进行微调,大语言模型可以在多轮对话中明确用户的模型调用需求,随后调用水利模型并返回计算结果。chatglm3-6b 大语言模型微调的重点在于多轮对话数据集的构建,这一过程按流程“用户提问—大语言模

型推荐模型调用参数—用户提出调整需求—大语言模型修改模型调用参数—用户确认”进行数据采集,保证数据集的多样化。

以水文预报模型调用为例,调用机制如图 4 所示。这种调用机制充分发挥了知识平台的自然语言交互能力和模型平台的精准计算能力,实现跨平台的有效联动和资源共享,提升知识处理的效率,拓宽知识来源的范围。

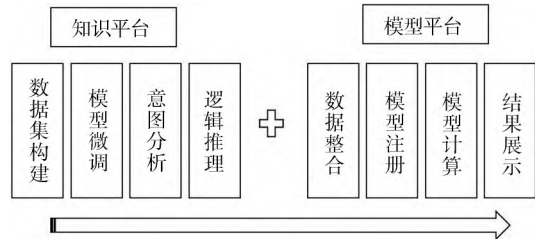


图 4 模型调用机制
Fig.4 Model Invocation Mechanism

2.4 考虑知识关联的业务知识推理体系

知识图谱通过结构化方式组织和存储知识,使得分散在不同文档、数据库和系统中的信息得以集中管理和利用,并且能够清晰地表示水利实体之间的关系。为建立黄河流域知识图谱库,基于 Qwen2-72b-int4 大语言模型挖掘历史大洪水事件典型时空属性及特征指标,构建防汛历史场景库;将“58·7”“77·8”“82·8”“96·8”等典型场次洪水处置、安全事件处置的经验数字化、结构化,构建专家经验库。为保证大语言模型抽取知识的效果,引入思维链(CoT)技术,按照以下步骤构建提示词模版:1)告知大语言模型需要对一段水利相关的文本作知识抽取,给出知识的结构模版[“实体(属性)-关系-实体(属性)”]和对知识抽取结果的要求(符合事实、结构准确);2)给出“输入文本—知识抽取结果”的具体示例;3)告知大语言模型在输出结果之前,对知识抽取结果的知识逻辑和知识结构作检查。

在对文本资料进行切片处理后,将上述步骤构建的提示词模版一并提交至大语言模型,可得到符合知识逻辑和知识结构的结构化文本,最终将结构化文本存入图数据库^[8-11]。

业务知识推理体系建设主要分为两部分:一是构建“实体(属性)-关系-实体(属性)”的多种知识关联模式,例如,通过构建“花园口水文站-1977 年洪水特征值-洪峰流量”知识关联模式,得到花园口水文站 1977 年洪水的洪峰流量,再结合正则表达式可以对某流域任一站点在任一年份的任一特征值进行查询;二是基于知识关联模式完成多属性相似度匹配,即根据

多个预设特征值的权重和数值对历史场景库中某站点的历史洪水记录进行多属性相似度匹配,并根据相似度返回最相似的前 5 个历史洪水的记录,借助对应的知识关联模式,将当前的防洪工程运用情况和受灾情况一起展示出来,可为防汛减灾决策工作提供快速、可靠的历史防汛知识。

传统的多属性相似度匹配方法一般基于欧氏距离进行属性间距计算,但这种方法未考虑各属性量纲间差异、极值干扰的影响,故提出一种考虑量纲影响、历史统计数据、大偏差属性支配效应的加权统计自适应距离计算方法,公式为

$$D(X, Y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n w_i \frac{|x_i - y_i|}{\alpha_i + \beta(\mu_i + |x_i - y_i|)}} \quad (5)$$

式中: $D(X, Y)$ 为加权统计自适应距离, x_i, y_i 分别为两个场景属性 i 的值, w_i 为属性 i 的预设权重, μ_i 为属性 i 的历史数据均值, α_i 为属性 i 的尺度调节因子(默认取 μ_i), β 为全局平滑系数(取 0.1~0.3)。

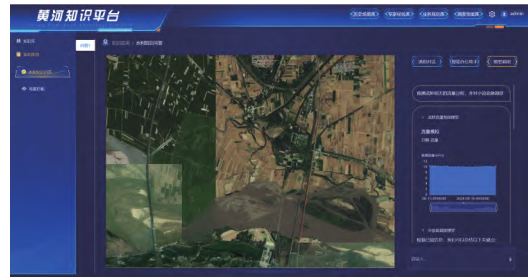
3 知识平台功能研发

3.1 防洪“四预”助手

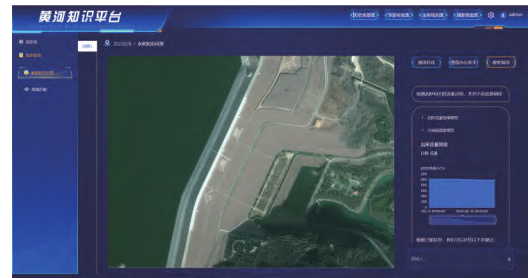
针对水文模型调用对话数据集进行微调,联动模型平台研发防洪“四预”助手。以水文模型调用对话数据集构建为例,首先确定水文模型调用工具的参数,主要包括模型分类、时段、区域等,并附加这些参数的描述,使 chatglm3-6b 大语言模型理解该工具。然后使用提示词模版,如“我需要进行水文计算”“我要对潼关站作预报”时段如“明天”“2023 年 4 月 6 日至 5 月 5 日”,区域如“三花间(三门峡至花园口区间)”“小花间(小浪底至花园口区间)”。最终得到 1 300 条训练对话数据集和 500 条测试对话数据集。利用 P-Tuning 技术进行多组参数方案微调,最终采用参数方案如下: PRE_SEQ_LEN = 128、LR = 2e-2、NUM_GPUS = 1、MAX_SEQ_LEN = 1 024、DEV_BATCH_SIZE = 16、GRAD_ACCUMULATION_STEPS = 16、MAX_STEP = 105、SAVE_INTERVAL = 35。经测试,微调后的 chatglm3-6b 大语言模型的水文模型调用准确率由 43% 提升至 72%,为防洪“四预”助手的稳定使用提供了保障。

防洪“四预”助手的推出旨在解决水利专业人员在日常工作中面临的复杂问题,特别是涉及大量数据处理和模型分析的任务。在水文学研究和应用中,经常需要频繁地调用各种水文模型来进行预测、模拟和评估,但这些过程通常繁琐且耗时。有了防洪“四预”助手之后,用户可以借助自然语言与平台进行交互,轻

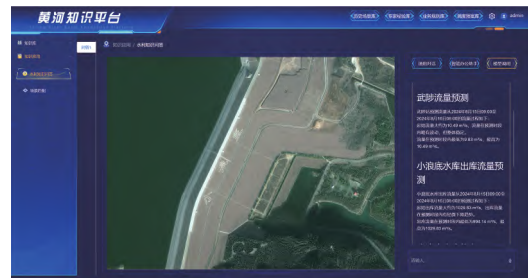
松调用水文模型进行数据分析、水情模拟等操作,应用界面如图 5 所示。



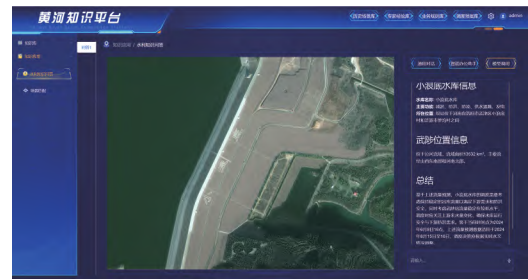
(a) 展示武陟预测流量



(b) 展示小浪底出库流量



(c) 总结模型调用情况



(d) 总结所有信息

图 5 防洪“四预”助手功能应用界面
Fig.5 Application Interface of Flood Prevention “Four Pre” Assistant Function

利用防洪“四预”助手,用户可以直接提问“预测武陟明天的流量过程,并对小浪底作调度”,助手能够理解这一请求,并调用相应的水文模型和调度模型来生成预测结果。这样不仅大大简化了模型调用过程,提高了工作效率,而且使得非专业人员也能便捷地利用多种水文模型。随着用户持续使用和反馈,平台收集这些对话数据用于迭代更新,不断提升防洪“四预”助手的理解能力和模型调用的准确性,确保能够更好地满足不断变化的业务需求和技术挑战。

3.2 历史场景匹配

为了应对水利行业面临的复杂挑战,知识平台借助“实体(属性)-关系-实体(属性)”的知识关联模式和多属性相似度匹配能力,提出加权统计自适应距离计算方法,并据此研发了历史场景匹配功能。预设洪水总量为 20.00 亿 m^3 、权重为 1,洪峰流量为 11 300 m^3/s 、权重为 1,输沙总量为 6.54 亿 t、权重为 1 β 取 0.2。欧氏距离和加权统计自适应距离计算结果见表 1。

表 1 欧氏距离和加权统计自适应距离计算结果

Tab.1 Euclidean Distance and Weighted Statistical Adaptive Distance Calculation Results

场景	洪水总量/ 亿 m^3	洪峰流量/ (m^3/s)	输沙总 量/亿 t	欧氏 距离	加权统 计自适 应距离
预设场景	20.00	11 300	6.54		
1977 年 8 月 8 日 12 时 花园口站	22.58	10 800	5.87	500.01	0.48
1977 年 8 月 7 日 21 时 小浪底站	20.93	10 100	7.54	1 200.00	0.51
1977 年 8 月 6 日 15 时 龙门站	16.11	12 700	6.10	1 400.01	0.57
1977 年 8 月 7 日 14 时 三门峡站	20.88	8 900	7.95	2 400.00	0.64
1977 年 8 月 6 日 23 时 潼关站	20.88	15 400	7.84	4 100.00	0.72

由表 1 可知,传统欧氏距离法在多属性相似度匹配中容易受量纲差异与单一属性较大值干扰,如潼关站的欧氏距离(4 100.00)被洪峰流量(偏差达 4 100 m^3/s)主导,而加权统计自适应距离(0.72)则通过引入历史均值与尺度调节因子,结合全局平滑系数抑制极值影响,使输沙总量(偏差 1.3 亿 t)和洪水总量(偏差 0.88 亿 m^3)的协同效应得以体现。此外,相较于各情景下欧氏距离跨度达 3 600(500.00~4 100.00),加权统计自适应距离减小至 0.48~0.72,排序逻辑更符合决策者对于相似度百分比的认知,避免数值量纲差异导致的误判,显著提升了水利历史场景匹配的合理性与科学性。

历史场景匹配功能的开发旨在帮助水利工作者在应对突发性事件或需要作出重要决策的情况下,能够

迅速找到与当前场景相似的历史案例作为参考,获取丰富的水沙特征数据资料、历史灾情以及防洪工程运用措施。用户只需要输入当前场景关键要素的预设值(如所在流域、洪峰流量、输沙总量等)和权重,平台就能通过各种知识关联模式和多属性相似度匹配算法,在历史场景库中找出最相关的案例(界面如图 6 所示),大幅度提升工作效率,让用户能够在短时间内获得有价值的信息,从而作出更为合理的决策。



(a) 1977 年花园口站洪峰信息



(b) 1977 年花园口站灾情信息



(c) 1977 年花园口站防洪工程运用信息



(d) 1977 年龙门站灾情信息

图 6 历史场景匹配功能应用界面

Fig.6 Application Interface for Historical Scene Matching Function

3.3 知识检索和知识视窗

为了进一步提升知识管理和应用水平,数字孪生

黄河知识平台在知识图谱基础上增加了知识检索、知识视窗等功能。这些功能的开发旨在帮助用户更高效地访问、分析和理解知识图谱中的丰富信息。在日常办公中,这些功能可极大地简化信息查找和分析过程,应用界面见图 7。例如,通过知识检索功能,用户可以搜索特定实体及其相关联信息,无论是想要了解某一水利工程的相关特性还是特定水文事件的影响范围,都能快速得到答案。知识视窗功能进一步将复杂的数据转换为直观的可视化界面,使用户能够自定义关系链长度,得到实体间的关系网络及其关联知识。随着时间推移,平台会根据用户的反馈和使用情况持续优化这些功能,引入更先进的算法和技术,以提高检索的准确性和统计的全面性。



(a) 对小浪底站进行搜索



(b) 选择关系链类型



(c) 自定义关系链长度



(d) 得到相关知识

图 7 知识检索和知识视窗功能应用界面
Fig.7 Knowledge Retrieval and Knowledge Window Function Application Interface

3.4 文档办公助手

基于知识库问答模型和大语言模型上下文理解能力研发文档办公助手,旨在通过自动化和智能化手段提升日常办公效率。通过文档办公助手,用户可以上传相关的专业文档,让大语言模型针对这些文档进行数据分析、报告总结或会议摘要等操作,并且用户可以不断地向大模型提出修改要求,直到满意。例如,“总结提炼 2024 年全国水利工作会议要点,形成摘要”“概述 2024 年黄河防汛情况”“自动生成黄河数字孪生水利建设的发言稿,重点总结建设现状”。用户提出办公需求时,只需要上传文档并提出具体要求(包括主要工作内容、写作格式、语言风格),文档办公助手就能根据上下文理解能力快速生成对应内容,若用户认为不能满足要求,还可以进一步提出细化要求,直到满意。具体应用界面如图 8 所示。文档办公助手还具备持续学习和自我迭代的能力,能够根据用户的反馈和使用情况不断完善自身性能,确保满足不断变化的业务需求。



(a) 提出办公需求

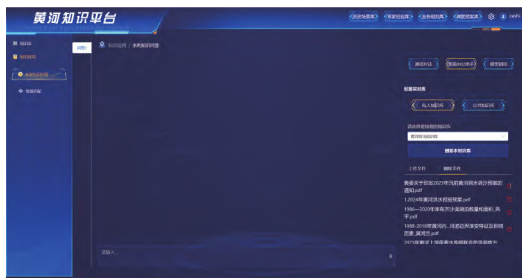


(b) 根据回答提出进一步修改需求

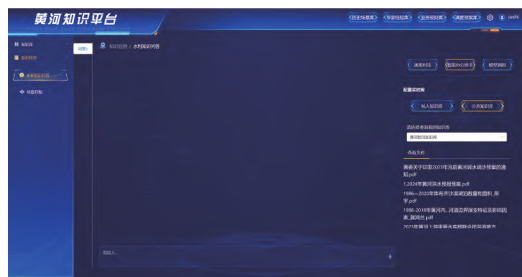
图 8 文档办公助手功能应用界面

Fig.8 Intelligent Office Assistant Function Application Interface

此外,考虑到不同用户间数据的私密性和安全性,对用户权限进行了控制,普通用户仅可对私人知识库进行文件新增、使用和删除操作,而对其他用户的私人知识库没有访问和使用权限,对于公共知识库也只有使用权限。界面如图 9 所示。



(a) 普通用户操作私人知识库



(b) 普通用户操作公共知识库

图 9 用户操作权限界面

Fig.9 User Operation Permission Interface

4 结束语

通过整合大语言模型与知识图谱技术,构建数字孪生黄河知识平台,解决了传统知识平台在动态业务场景中的局限性。具体而言,建立基于 LLM 的水利知识问答机制,研发文档办公助手,通过私域知识库与多属性相似度匹配,实现高质量的自然语言交互与知识检索,大幅提升办公效率;提出考虑 LLM 微调的水利模型调用方法,将模型调用准确率由 43% 提升至 72%;提出加权统计自适应距离计算方法,优化历史场景匹配逻辑,相较传统欧氏距离法,距离域由 500.00~4 100.00 减小至 0.48~0.72。该平台能够有效支撑复杂水利场景的快速决策,可为黄河流域数字孪生建设

与业务智能化转型提供技术范式与实践参考。

参考文献:

- [1] SMIRNOVA A ,CUDRÉ-MAUROUX P.Relation Extraction Using Distant Supervision: A Survey [J].ACM Computing Surveys 2018 ,51(5) : 1-35.
- [2] RAFFEL C ,SHAZEER N ,ROBERTS A ,et al.Exploring the Limits of Transfer Learning with a Unified Text-to-Text Transformer [J]. Journal of Machine Learning Research , 2020 ,21(140) : 1-67.
- [3] QIU X P ,SUN T X ,XU Y G ,et al.Pre-Trained Models for Natural Language Processing: A Survey [J].Science China Technological Sciences 2020 ,63(10) : 1872-1897.
- [4] BAUER P ,STEVENS B ,HAZELEGER W.A Digital Twin of Earth for the Green Transition [J].Nature Climate Change , 2021 ,11(2) : 80-83.
- [5] 钱峰 ,成建国 ,夏润亮 ,等.水利大模型的建设思路、构建框架与应用场景初探 [J].中国水利 2024(9) : 9-19.
- [6] 钱峰 ,夏润亮.数字孪生水利赋能水利新质生产力发展框架研究 [J].中国水利 2024(8) : 6-10 ,5.
- [7] 夏润亮 ,李涛 ,李珂 ,等.多模型云服务平台构建研究与应用实践 [J].中国防汛抗旱 2022 ,32(3) : 52-56 ,60.
- [8] 冯钧 ,吕志鹏 ,范振东 ,等.基于大语言模型辅助的防洪调度规则标签设计方法 [J].水利学报 2024 ,55(8) : 920-930.
- [9] 杨阳蕊 ,朱亚萍 ,刘雪梅 ,等.水利工程文本中抢险实体和关系的智能分析与提取 [J].水利学报 2023 ,54(7) : 818-828.
- [10] 朱浩 ,赵红莉 ,段浩 ,等.水利多领域知识图谱关联融合方法研究 [J].人民黄河 2025 ,47(3) : 123-129 ,134.
- [11] 贾贺 ,刘辉 ,卜新魁 ,等.基于知识图谱的泵站运行方案智能推荐与优化 [J].人民黄河 2024 ,46(4) : 125-130.

【责任编辑 栗 铭】

(上接第 31 页)

- [12] GAO Z Y ,TAN C ,WU L R ,et al.SimVP: Simpler Yet Better Video Prediction [C]//Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition(CVPR) . Louisiana: IEEE Press 2022: 3170-3180.
- [13] GUEN V L ,THOME N.Disentangling Physical Dynamics From

Unknown Factors for Unsupervised Video Prediction [C]// Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) . Washington: IEEE Press , 2020: 11474-11484.

【责任编辑 栗 铭】