引文格式:王孟琪,李伯钊,王振立,等.一种集成知识图谱和大语言模型的智能地图制图框架[J].武汉大学学报(信息科学版),2026,51(4):840-851.DOI:10.13203/j.whugis20240266

Citation: WANG Mengqi, LI Bozhao, WANG Zhenli, et al. An Intelligent Map Cartography Framework Integrating Knowledge Graph and Large Language Model[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2026, 51(4): 840-851. DOI: 10.13203/j.whugis20240266

一种集成知识图谱和大语言模型的智能地图制图框架

王孟琪[1] 李伯钊[1] 王振立[2] 刘松操[1] 廖 成[1] 蔡忠亮[1]

1 武汉大学资源与环境科学学院,湖北 武汉,430079

2 浙江省测绘科学技术研究院,浙江 杭州,311100

摘 要:已有研究探索了生成式人工智能在地图制图任务中的应用,例如应用图像翻译模型进行地图风格转换,使用图像扩散模型尝试将文本描述转换成地图图像,以及将大语言模型(large language model, LLM)作为制图助手完成用户需求解析和专业制图工具调用。上述研究验证了生成式人工智能在地图制图任务中的可行性,但地图生成结果存在不准确和制图知识缺失等问题。因此,提出一种集成制图规则的制图框架,以制图知识图谱为决策支持,以LLM为决策智能体,以制图插件为决策执行器。实验以制作武汉市交通地图为例,实现了制图策略生成、交互式修改、地图结果生成的智能制图流程,验证了智能制图框架和制图知识在人工智能生成地图任务中的有效性。

关键词:地图制图;地图知识图谱;LLM;智能制图

中图分类号:P208 **文献标识码**:A **收稿日期**:2024-12-17

DOI:10.13203/j.whugis20240266 **文章编号**:1671-8860(2026)04-0840-12

An Intelligent Map Cartography Framework Integrating Knowledge Graph and Large Language Model

WANG Mengqi[1] *LI Bozhao*[1] *WANG Zhenli*[2] *LIU Songcao*[1] *LIAO Cheng*[1] *CAI Zhongliang*[1]

1 School of Resources and Environmental Sciences, Wuhan University, Wuhan 430079, China

2 Zhejiang Academy of Surveying and Mapping, Hangzhou 311100, China

Abstract: **Objectives**: Generative artificial intelligence has introduced new possibilities for map cartography. Existing studies have explored map style transformation, text-to-map generation, and large language model (LLM)-assisted cartography, indicating the potential of generative artificial intelligence for cartographic tasks. However, generated results still suffer from inaccurate map representation, insufficient cartographic knowledge, and limited support for stable cartographic reasoning. Traditional cartographic expert systems also make limited progress because of the difficulty of cartographic knowledge modeling and reasoning construction. Direct use of general LLM for cartographic tasks faces additional problems, including weak understanding of cartographic concepts, unstable output, and limited capability in computation and operation. The intelligent map cartography framework is therefore constructed to integrate cartographic knowledge graph, LLM reasoning, and cartographic execution tools, so that cartographic knowledge could be explicitly embedded into map-making tasks. **Methods**: The framework is designed according to the logic of practical cartographic workflow and organized into three major stages that are cartographic strategy generation, interactive modification, and map generation. The cartographic knowledge graph is first constructed to formalize cartographic concepts, entities, rules, and relations. Map ontology is used to organize cartographic

基金项目:国家重点研发计划(2021YFB2501101)。

第一作者:王孟琪,博士,研究方向为智能制图。mqwang@whu.edu.cn

通信作者:李伯钊,博士,副研究员。libozhao@whu.edu.cn

concepts at different levels. Similarity relations between cartographic regions and themes are added to strengthen associations among map entities and support knowledge retrieval when the exact match is unavailable. The knowledge graph serves as the external knowledge base for cartographic reasoning, and the LLM acts as the decision agent. The fine-tuning strategy based on low-rank adaptation is adopted to improve the model's understanding of cartographic concepts and map-making tasks. During cartographic strategy generation, natural-language requirements are parsed into structured task information, including cartographic region, map theme, and related design conditions. The structured information is used to retrieve relevant data and cartographic configuration knowledge from the knowledge graph. Cartographic reasoning is performed by decomposing the map-making problem into multiple sub-tasks and generating corresponding query sequences, so that symbol, annotation, and other map design configurations could be inferred step by step. During interactive modification, user feedback is transformed into parameterized revision information, and the corresponding configurations are updated. During map generation, the selected data, inferred design configuration, and existing symbol resources are combined to complete data processing and automated map output. **Results:** The traffic map of Wuhan is used to verify the proposed framework. The framework completes a full intelligent cartographic process covering requirement parsing, cartographic strategy inference, interactive revision, data processing, and automated map output. Natural-language cartographic requirements could be transformed into structured task descriptions and used as the basis for subsequent processing. The knowledge graph supports the retrieval and recommendation of cartographic knowledge related to symbols, annotations, and other map design elements. When exact knowledge for a target map is unavailable, related knowledge could still be inferred through similarity relations between cartographic regions and themes. Interactive modification enables users to adjust map configurations according to revised requirements, and the updated configuration could be directly incorporated into the subsequent cartographic process. The experiment of Wuhan traffic map shows that the framework could connect cartographic knowledge, LLM-based reasoning, and execution tools within one workflow, while reducing operational steps and alleviating problems caused by insufficient professional knowledge. The proposed framework also demonstrats the value of cartographic knowledge in constraining and guiding artificial intelligence (AI)-based map generation. **Conclusions:** Integration of cartographic knowledge graph, LLM, and cartographic tools provides a feasible framework for intelligent map cartography. Explicit representation of cartographic knowledge improves support for cartographic reasoning, strategy generation, and interactive revision. The framework extends AI-assisted cartography from isolated task execution to coordinated workflow linking requirement understanding, knowledge-guided reasoning, user interaction, and automated map production. Results from the Wuhan traffic map validate the effectiveness and practical applicability of incorporating cartographic knowledge into AI-based map generation.

Key words: cartography; cartographic knowledge graph; LLM; intelligent cartography

传统的地图制图专家系统[1-4]存在制图知识建模难度大、推理流程构建困难等问题,未能在智能制图方面取得突破性进展[5]。为解决智能制图的知识工程瓶颈以及大众化趋势下普通用户制图理论缺乏、专业制图师设计费时费力等问题[6-7],研究者们关注使用视觉领域的图像翻译模型来完成地图生成任务[8-10],或是将深度学习方法应用于传统制图任务[11-12]。

不同于传统制图流程,使用图像翻译模型完成地图制图是将地图生成任务视为图像域到图像域的转换问题,使用航空图像而非矢量数据作为数据源,按照转换对象可分为基于语义分割的转换和基于图像到图像的转换。基于语义分割的转换使用语义分割方法将航空图像的每个要素归入不同类别标签,再设置渲染方法进行地图生成[13-15]。此类研究只关注建筑物或道路等单一地面元素类别,且语义分割网络通常不关注输出结果的风格和细节特征,生成的地图结果较为准确但视觉质量不高。基于图像到图像的转换方法是将航空图像和对应区域的在线地图视为不同域的图像,基于生成对抗网络(generative adversarial network, GAN)进行图像翻译,例如文

献[8]利用带有内容和样式损失的条件GAN模型,用高分辨率卫星图像生成谷歌地图样式的地图瓦片,验证了地图生成任务的可行性;文献[9]受人工标注流程的启发,提出了结合语义分割与图像翻译的端到端在线地图生成方法,利用语义信息来指导模型生成较准确的在线地图图像;文献[10]提出了使用半监督学习策略的风格化地图瓦片生成方法,该方法能够生成具有全局拓扑关系和物体详细边缘曲线的风格化地图瓦片,在训练样本有限的情况下提高了地图的生成质量。此类研究生成的地图结果具有类似通用在线地图的地图样式,但是未对地理要素的几何特征和空间位置进行表征,仅是将电子地图的视觉感受迁移到卫星图像中,缺乏空间关系,导致无法进行空间分析,存在语义错误、地理要素混淆的问题,并且不能直接对地图结果进行编辑修改,未能满足智能制图的需求。

纯数据驱动的图像翻译模型在制图应用中存在显著不足,即缺乏实用性和制图知识的明确表示[16]。大语言模型(large language model, LLM)表现出的上下文学习、指令遵循和逐步推理等能力,为实现智能地图制图带来了新的启发[17-18]。文献[19]围绕聊天生成式预训练变换模型(chat generative pre-trained transformer, ChatGPT),在地图制图的应用中开展了初步探索,分别测试了基于给定或公开地理空间数据生成专题地图以及仅依据地理空间文本描述绘制心理地图的可行性。结果证明,ChatGPT有能力为地图制作提供解决方案,降低了地图制作门槛,提高了大规模地图制作的效率。文献[20]提出了一种地图生成式预训练变换模型(map generative pre-trained transformer, MapGPT)的智能制图框架,设计多种专业制图工具来控制对应地图元素,对用户输入的自然语言描述进行解析后调用相应工具进行地图制作,实验结果验证了该框架在制图过程中的有效性。然而这些研究仅关注LLM在地图制图任务中的应用,并未考虑制图知识缺失的问题。

研究和发展智能地图制图首先要解决地图制图的知识工程瓶颈问题,难以构建的制图知识库和推理流程导致只能实现部分制图过程的自动化[21-22]。文献[21]指出,制图知识图谱驱动的制图流程结合数据智能辅助的地图编制是实现智能编图的新途径。知识图谱可以将地理信息和制图规则以节点和边进行组织,形成图结构的知识表示以便于计算机处理,通过整合多源地理数据可以实现知识融合与扩展,为智能制图系统提供先验知识,提高地图制作的准确性。另外,知识图谱的推理能力能够基于现有地理知识和制图规则进行制图决策的自动推导,结合LLM的上下文学习能力,能够充分理解用户意图,提供个性化的地图制作服务。现阶段知识图谱的构建多侧重于通用领域,也有研究者构建了地学领域的知识图谱[23],但是结合知识图谱与LLM进行地图制图任务的适用性研究仍待探索。

针对现阶段智能制图中存在的制图知识缺失和生成地图结果难以修改的问题,本文提出了一种集成制图知识图谱和LLM的智能制图框架:制图知识与制图规则以知识图谱的方式进行形式化表示,作为外挂知识库约束制图策略的生成,通过显式知识注入来增强LLM完成地图制图任务的可解释性;制图的步骤信息、配置信息和符号化信息等以配置库的形式存储,基于反应式推理方法[24]和LangChain框架,利用LLM调用不同制图工具,实现制图需求解析、制图策略推理与交互修改、地图成果制作的智能制图流程,整体制图过程以自然语言进行交互,从而降低地图制图任务对用户专业知识的依赖。

1 智能制图框架设计

参考传统制图流程,本文设计的制图框架分为制图需求解析、制图策略推理与交互修改、地图成果制作3个部分(见图1)。首先,制图需求解析部分将用户输入的自然语言拆解成制图需求;然后,制图策略推理按照制图需求搜索制图知识库,利用制图知识图谱推理制图策略,输出地图配置库信息,并根据修改需求指令更改配置信息,生成设计结果;最后,基于LangChain框架调用空间数据处理软件和制图工具制作地图。

1.1 制图需求解析

为增强LLM对地图及其相关概念的理解,提高其解决制图任务的能力,本文以地图学著作和制图文献为基础,构建包含制图概念、制图场景的问答数据集,使用低级适应(low-rank adaptation, LoRA)方法[25]对模型进行微调,解决LLM对部分制图概念回答不充分、制图问题解答较宽泛和输出内容不具备可操作性的问题。

对于参数规模较大的LLM,LoRA方法假设模型权重在下游任务适配过程中,其更新量具有低秩特性,因此可将原始权重矩阵$\boldsymbol{W}_0$的增量项表示为两个低秩矩阵的乘积,表达式为:

$$\boldsymbol{W}_0+\Delta\boldsymbol{W}=\boldsymbol{W}_0+\boldsymbol{BA} \tag{1}$$

式中,$\Delta\boldsymbol{W}$代表相对于原始权重的增量调整;$\boldsymbol{B}$、$\boldsymbol{A}$为可训练的低秩矩阵。$\boldsymbol{W}_0\in\mathrm{R}^{d\times k}$,$\boldsymbol{B}\in\mathrm{R}^{d\times r}$,$\boldsymbol{A}\in\mathrm{R}^{r\times k}$,$d$为权重矩阵的输出维度,$k$为权重矩阵的输入维度,$r$为LoRA模块的秩,$r$通常远小于$d$和$k$。

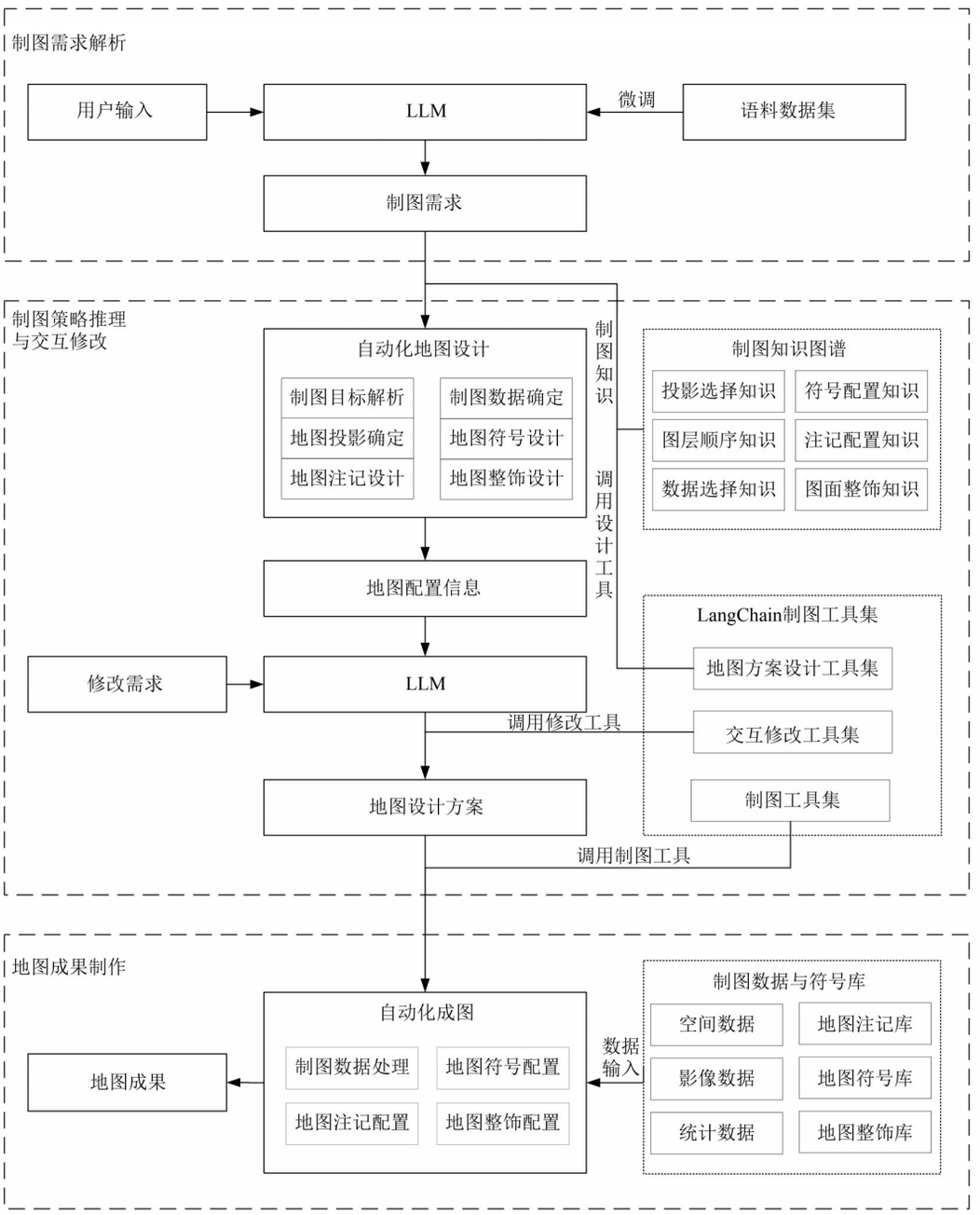


图1　集成LLM的制图框架

Fig. 1　Cartographic Framework Integrated with LLM

线性变换过程可表示为:

$$\boldsymbol{h}=(\boldsymbol{W}_0+\Delta\boldsymbol{W})\boldsymbol{x}=\boldsymbol{W}_0\boldsymbol{x}+\boldsymbol{BAx} \tag{2}$$

式中,$\boldsymbol{h}$为输出向量;$\boldsymbol{x}$为输入向量。LoRA微调过程中,原始权重矩阵$\boldsymbol{W}_0$保持冻结,仅对低秩矩阵$\boldsymbol{A}$和$\boldsymbol{B}$进行训练。训练完成后,将任务相关的LoRA参数独立存储,根据下游任务切换对应的LoRA模块。模型微调后以提示工程的方式,利用LLM理解用户输入的文本,记录制图目的、制图数据、符号、色彩、字体等特殊需求,以JSON格式对抽取的结果进行形式化输出。

1.2　制图策略推理与交互修改

为提供先验制图知识约束LLM输出,本文以七步法方法体系[26]为依据,采用自顶向下的逻辑构建制图知识图谱,设计了5个概念本体,具体见表1。

概念间的关系定义以文献[27]提出的地图本体内关系为基础,增加图层概念、扩展影响因素,将单向关系扩展为双向关系以便于逻辑推

表1 面向地图制图的本体设计

Table 1 Ontology Design for Map Cartography

顶层概念	内容
地图元素	地图主图、地图副图、整饰元素
制图数据	自然地理数据、社会经济数据
地图符号	图片符号、图形符号、文本符号
地图投影	等角投影、等面积投影、等距投影、任意投影
地图影响因素	制图主题、制图区域、显示媒介、版面大小、目标受众

理,例如包含和被包含关系、影响和被影响关系以及父子类之间的继承关系。例如,地图包含地图元素,图例是地图元素的子类,地图和图例之间依然有包含关系。

制图知识图谱的实体来源包括地图形式的制图成果和包含配图信息的电子地图文档,前者由制图人员分解得到地图、地图数据等实体,后者以自动化解析的方式抽取数据、配图规则等知识,根据类别转换为相应地图实体并存储在Neo4j图数据库中。地图本体中与地图本身无关的实体(如制图区域、地图幅面和显示媒介、地图投影等)预先填充到知识图谱中。制图知识图谱中的实体关系继承自本体层定义的关系类型,在实体化过程中,通过查询实体所属类及其父类之间的关系,确定相应的实体关联。地图本体的概念信息以类实体保存,不同层次的制图概念以子类关系进行关联,具体制图实体和制图概念使用实例关系进行关联,制图实体间的关系继承其所属类之间的关系。

为加强地图实体间的联系,添加制图区域间相似关系和制图主题间相似关系关联分散的地图本体,以便于LLM进行制图知识挖掘。其中制图区域间相似关系以行政区划为基础,将4级行政区划按照层级关系构成网络,通过网络中最短路径实现制图区域间相似性度量;制图主题间相似关系以语义相似性为参考,基于变换器的双向编码器表征模型将语言表示为向量,计算向量之间的余弦相似度作为制图主题间相似性度量。

利用图上思考[28]构建LLM的制图知识获取方式,将制图需求拆分成多个子任务,与Neo4j图数据库交互以进行制图策略推理。制图知识图谱的本体作为上下文信息约束LLM生成的查询语句,LLM理解地图本体后将制图问题拆分成多个Cypher查询语句,与Neo4j图数据库进行交互,查询相应制图知识,在判断查询终止后输出设计结果。构建地图方案设计工具集(见表2),每个工具独立与制图知识图谱进行交互,根据制图任务ID获取数据及配置信息,初步设计结果以配置库的形式保存。其中analysis_map_damand工具首先对输入的自然语言需求进行解析,提取制图区域、地图主题、目标受众等,创建制图任务ID后将以上提取的要素保存在数组中,最终以JSON格式进行存储。map_data_design工具接收的输入是制图区域、地图主题和对数据的特殊需求,根据上述内容结合已有的地理空间数据来确定本次制图所需数据的类型,并以制图任务ID为依据,将数据选取信息存储到数据配置表中。map_design类工具根据提取的制图区域、地图主题以及对符号等的特殊需求,查询制图知识库(即制图知识图谱)后确定地图投影类型、地图符号、地图注记和地图整饰的属性配置,将配置信息存储到制图任务ID对应的配置表中。

表2 地图方案设计工具集

Table 2 Toolset for Map Scheme Design

工具名称	工具描述
analysis_map_damand	制图需求解析,拆分制图区域、主题等要素,创建制图任务ID,以JSON格式保存
map_data_design	依据制图区域及主题,确定制图数据,存储到制图任务ID配置表
map_design	依据制图区域及主题,确定制图配置信息,存储到制图任务ID配置表

本文基于参数化的配置库设计交互修改工具集(见表3),从而对地图内符号和整饰信息进行修改。交互式修改利用LLM理解用户的修改需求,查询配置库内参数化信息并进行处理,通过LangChain调用工具将修改后的结果反馈到数据库,调用可视化工具进行修改结果展示。交互修改工具的作用范围包括地图整饰、地图符号、地图注记和地图数据的修改与删除,modify_map_apperance工具的输入为地图整饰的修改类型和修改需求,LLM将知识库内查询到的对应地图整饰参数信息表示为语言描述,理解输入的修改需求后修改对应参数,最终输出JSON格式的修改结果。modify_symbol类工具输入点数据、线数据、面数据符号的修改需求,查询知识库中对应类型的符号配置信息并转化为文字描述,根据修改需求更改对应参数并将修改后的结果以JSON格式展示。modify_anno类工具的设计与符号修改类工具的设计类似,将查询到的对应类

表 3　交互修改工具集

Table 3　Toolset for Interactive Modification

工具名称	工具描述
modify_map_apperance	查询配置库内整饰类型的参数信息,以JSON格式输出修改结果
modify_symbol	查询配置库内符号参数信息,以JSON格式输出修改结果
modify_anno	查询配置库内注记参数信息,以JSON格式输出修改结果
remove_map_data	删除地图数据、地图符号、注记

型数据的注记参数信息转化为自然语言形式,针对用户输入的修改需求进行修改并输出JSON格式的修改结果。remove_map_data工具的输入是具体的数据名称,目的是删除当前地图设计方案中的某个地图数据,同时清除该数据对应的地图符号和地图注记。

1.3　基于配置方案的自动成图

交互修改后的设计结果包含数据、符号等指导制图的信息,制图过程与传统制图流程相似,包含数据处理、符号和整饰配置。根据设计结果从空间数据库抽取目标数据,制图目标通常是整体数据的一部分,因此需要根据制图区域对数据进行裁切并进行图廓线、经纬线的计算,同时需要将所有空间数据进行投影转换。此过程通过提示工程的方式驱动LLM调用ArcGIS的Python接口模块(即ArcPy)对制图数据进行预处理,将预处理结果导出为制图数据库。

地图设计过程完成了数据和符号的对应关系,符号的配置即是进行属性对应,整饰的配置根据配置库设定好的内容直接生成。符号配置基于现有的CorelDraw制图插件进行适应性修改,利用LangChain构建制图工具集(见表4),通过提示工程的方式驱动制图系统进行数据符号化、注记绘制、整饰绘制、要素关系处理等,实现地图成果的绘制和导出。制图工具集主要包括数据预处理、地图制图和成果导出3类工具,以上工具的输入均为制图任务ID,以构建提示工程的方式实现对现有制图工具和制图环境的应用。其中,preprocess_data工具的实现是通过调用Python子程序来启动ArcPy环境,通过开发的脚本实现制图数据的抽取和裁切、指定地图投影的坐标转换以及图廓线、经纬网的添加等处理过程,并将最终结果导出到制图数据库中。auto_draw_map工具根据制图任务ID确认最终地图方案配置信息,以数据库驱动的方式进行消息传递,制图插件扫描消息表后获得制图任务ID、制图数据集和配置库,利用制图数据集和配置库进行自动化制图。export_map_img工具将制作完成的地图导出为图片格式进行保存。

表 4　制图工具集

Table 4　Cartographic Toolset

工具名称	工具描述
preprocess_data	利用ArcPy进行数据裁切、投影、经纬网生成、添加等预处理
auto_draw_map	调用工具解析CorelDraw配置库和空间数据,自动化制图和文件保存
export_map_img	将绘制完毕的地图导出为图片

2　智能地图制图实验与分析

2.1　实验数据与环境

实验数据按照用途分为用于模型微调的语料数据集、用于测试模型微调后在制图领域应用能力的制图能力测试集、用于知识图谱构建的地图成果和进行制图实验的地理空间数据(见表5)。微调语料数据集以制图学著作和文献为基础,构建包含制图概念问答和制图场景问答共计2 000个问答对。制图能力测试集围绕地图制图、地图投影、制图综合、空间数据库、地图可视化、计算机制图等模块设计了132个相关问题,以测试LLM在制图领域的概念理解、场景问答、过程求解和数据计算等方面的能力。地图成果作为知识图谱的实体来源,包含地图形式的制图成果和电子地图文档,前者由专业制图人员进行分析,将结果映射到地图数据等实体节点,后者通过自动化解析脚本抽取制图数据、配图规则等制图知识,并根据类别转换为相应的实体后存储在图数据库中。地理空间数据用于智能制图框架的有效性实验,采用自然资源部公开的1∶25万全国基础地理数据库,原始数据的地理空间参考为CGCS2000坐标系,高程基准为1985国家高程基准。

实验硬件资源为Intel64 2.3 GHz处理器,256 GB RAM和两张RTX 4090显卡。预训练模型选用通义千问Qwen-14B模型,知识图谱存储选择Neo4j 5.17版本,主体开发语言为Python 3.10,

表5 实验数据类型

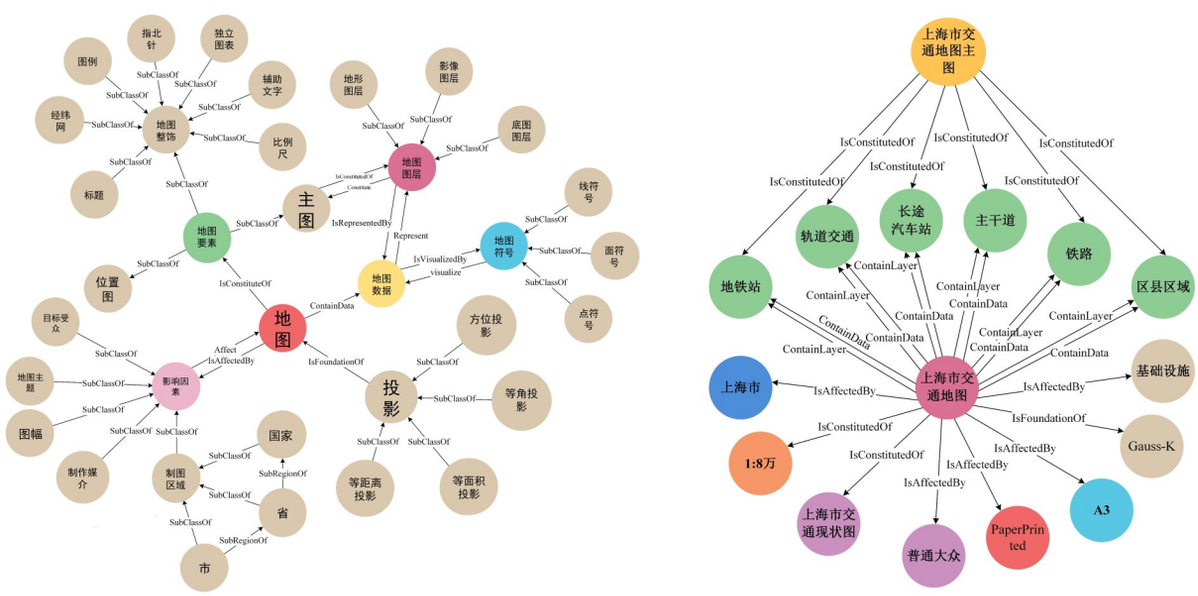
Table 5 Experimental Data Types

数据集	组成	用途
语料数据集	地图学专著、地图制图相关文献	用于模型微调,提高模型在制图任务方面的专业性
制图能力测试集	地图制图、地图可视化、计算机制图等问题	测试微调前后LLM在制图领域的应用能力
地图成果	符号配置文件、数据源信息、投影信息等	构建知识图谱数据层
地理空间数据	1:25万全国基础地理数据库	为自动制图实验所使用的基础地理空间数据

LLM开发框架为LangChain 0.1.0,可视化开发版本为Streamlit 1.29.0,使用开发包ArcPy 2.7进行数据预处理,制图插件运行环境为CorelDraw X8。

2.2 制图知识表示

基于27张不同区域和主题的地图成果及其对应的符号配置文件、数据源信息和投影信息等配置信息构建知识图谱。存储方式使用Neo4j开源图数据库,将地图本体的概念信息作为类(Class)实体保存在知识图谱中,不同层次的制图概念间以子类(SubClassOf)关系连接,具体的地图实体以实例(InstanceOf)关系与制图概念关联,制图实体间关系继承其所属类间的关系,通过相应概念间的关系查询实现新实体构建关系的自动化,最终构建共计5 017个实体和6 059个关系,图数据库中制图知识图谱本体与示例地图实体节点如图2所示。图2中,SubRegionOf表示子区域关系,Constitute及IsConstitutedOf表示构成关系的双向对应,Represent与IsRepresentedBy表示关系的双向对应,Affect与IsAffectedBy表示影响关系的双向对应,Visualize及IsVisualizedBy表示可视化表达关系的双向对应,IsFoundationOf表示与投影方法的关系,ContainData表示包含数据,ContainLayer表示包含图层。



(a) 地图本体概念及其关系 (b) 上海市交通地图部分节点

图2 知识图谱本体及部分节点示例

Fig. 2 Examples of Knowledge Graph Ontology and Some Nodes

2.3 制图需求解析结果

实验使用LoRA方法对Qwen1.5模型进行微调,微调参数设置为矩阵A随机高斯初始化、矩阵B零初始化,秩大小选择为8,进行5次迭代,训练后的结果显示模型在回答制图相关问题时更具体、更专业。例如,在提问“陆地交通中铁路要素的表达方式”时,微调前的回答过于宽泛,微调后的回答更符合地图制图专业性,微调前后问答对比案例具体如表6所示。采用涵盖制图领域概念理解、场景问答、过程求解和数据计算的问题集,对微调后的LLM进行了测试,回答结果采用制图专家核验的方式进行质量检查,其中地图投影和计算机制图方面有关数据计算的9个问题的回答较为简略。

制图需求分析工具首先基于提示模板解析用户需求,构建对应的JSON对象。以武汉市交通图制作为例进行解析(见图3),结果表明,制图区域

表 6　微调前后问答对比案例

Table 6　Comparison Cases of Q & A Before and After Fine-Tuning

问题示例	微调前的回答	微调后的回答
陆地交通要素中铁路如何表达?	在陆地交通要素中,铁路通常被表示为“Railway”或者“Railroad”。它是一种陆上长距离的公共交通设施,由钢轨、道床、信号系统和列车等组成,用于运输乘客和货物。在地图、交通规划或相关文档中,铁路线可能会用实线或虚线表示,颜色可能为黑色、蓝色或者其他特定的颜色,以区分于公路、道路等其他交通方式。	在大比例尺地图上,要区分单线和复线铁路、普通铁路和窄轨铁路、普通牵引铁路和电气化铁路、现有铁路和建筑中铁路等;而在小比例尺地图上,铁路只区分主要铁路和次要铁路两类。中国大、中比例尺地形图上,铁路皆用传统的黑白相间的符号来表示。其他的一些技术指标,如单、双轨用加辅助线来区分,标准轨和窄轨以符号的尺寸来区分,已成和未成的用不同符号来区分等。在小比例尺地图上,铁路多采用黑色实线来表示。
点状符号的定位方法有哪些?	点状符号在地图、图表或其他视觉表示中常用于标识特定的位置或数据。其定位方法主要有几种:(1)绝对定位。该方法基于具体的地理坐标如经度和纬度来确定点状符号的位置,通常用于全球定位系统中的导航或地理信息系统。(2)相对定位。若点状符号的位置与已知参照物有固定的关系,可以使用相对定位。比如,学校在公园东边 500 m 处,东边 500 m 就是相对于公园的位置。(3)间距定位。对于线性或面状的数据,点状符号可能按照一定的间距分布,如等距离的测量点。(4)动态定位。在动态地图或时间序列分析中,点状符号可能会随时间和空间的变化而移动。	(1)符号图形中有一点的,该点即为地物的实地中心住置。(2)几何图形符号,以图形的中心为地物的实地中心位置。(3)宽底符号,以底部中心为地物的实地中心位置。(4)底部为直角形的符号,以直角的顶点为地物的实地中心位置。(5)几种图形组成的符号以下方图形的中心为地物的实地中心位置。(6)不依比例尺描绘的其他符号,以符号的中心为地物的实地中心位置。

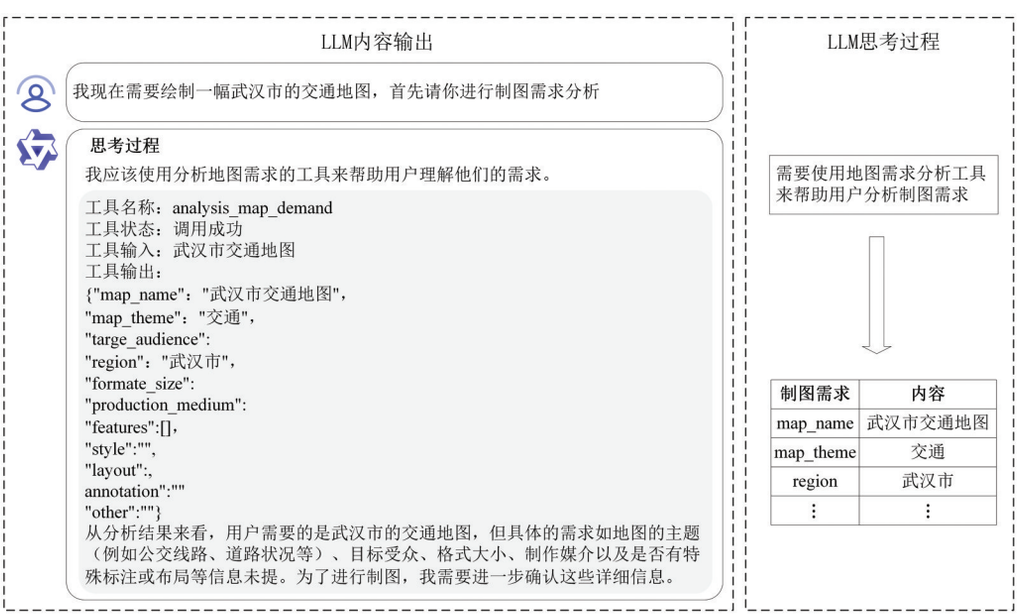


图 3　制图需求解析结果

Fig. 3　Analysis Results of Cartographic Requirements

为武汉市,地图主题为交通图,未指定内容以空白字段表示,为后续制图工具调用提供基础制图需求信息。具体实现为使用 LangChain 框架创建自定义的思维链(chain of thought, COT),确定制图需求分析工具的目标是将用户对制图需求的自然语言描述转化为结构化的 JSON 对象,明确输入是用户描述,输出是包含制图区域、地图主题等信息的数组,将制图需求分析任务拆分为解析用户需求和构建 JSON 对象的有序的步骤。其中解析用户需求的实现方法是使用提示模板提取需求中的关键实体信息,并且引导用户提出明确需求,减少模糊回答。首先,基于 LLM 的上下文的记忆能力,在出现歧义时用户可以提示模型出现错误并修改需求。然后,根据提取出的制

图区域和地图主题等信息，构建JSON对象，对于用户需求中未指定的内容以空白形式进行表示，确保JSON对象的完整性。通过自定义COT的方式可以有效地处理制图需求分析任务，将用户的自然语言转化为结构化的内容，为后续制图过程提供制图基础信息。

2.4 制图决策推理及交互修改结果

LLM利用地图设计工具集与制图知识图谱进行交互，根据解析过的制图区域和类型等信息获取相关数据，从图数据库中检索相关知识，然后输出符号、注记等配置信息。以武汉市交通图中的地图符号设计为例（见图4），检索知识库后发现不存在武汉市交通图的配置信息，根据行政区划和交通主题的相似度，制图框架最终推荐上海市交通图的地铁符号信息作为此次制图任务的地铁符号配置信息。



图4 地图符号设计工具的运行结果

Fig. 4 Operation Results of the Map Symbol Design Tool

交互式修改工具被设计为独立的Chain模块，通过提示模板解析用户修改需求，生成修改方案。以国道线符号修改为例，利用正则表达式对LLM的输出结果进行解析得到参数化修改信息，然后将修改结果写入配置，完成符号的修改（见图5）。

2.5 数据处理和自动化成图结果

制图实验所用数据为自然资源部1:25万全国基础地理数据库中的湖北省区域数据，包含交通、境界、水系、居民地等信息，共计28种点数据、34种线数据和21种面数据。根据需求解析后输出的制图区域等信息，制图框架完成了数据的抽取和裁切、地图投影的坐标转换以及增加图廓线、经纬网、主区色带等预处理工作。依据处理后的数据、地图设计输出的配置库和现有符号库，制图框架通过LangChain调用了CorelDraw制图插件，自动完成地图成果的输出（见图6）。

2.6 对比实验与分析

为验证制图框架的有效性，实验设置人工制图组作为对比，使用相同制图环境的CorelDraw制图插件进行地图绘制，不同制图方式对比如表7所示。人工制图组中分为无制图专业背景的普通用户和有制图经验的制图人员，以制作武汉市交通地图为例，用户首先需要阅读插件的使用教程、了解各参数信息和配置方法。普通用户因为缺少



图 5　线符号修改工具的运行结果

Fig. 5　Operation Results of the Line Symbol Modification Tool



图 6　数据处理和自动化成图结果

Fig. 6　Results of Data Processing and Automated Mapping

制图专业背景,在绘制武汉市交通地图时出现缺少省界、市界、区界等境界要素,交通要素的表示缺少在建高速、省道等要素,点要素缺少政府驻地等问题。有专业经验的制图人员在了解制图需求后能够完成交通地图的制作,但是在面对符号、注记等修改需求时,需要先查找对应参数再进行重置。智能制图框架组中,普通用户输入包含“武汉市交通图”的制图需求后可获得初步的地图设计方案,制图人员输入修改需求后即可获得相应参数调整后的制图配置表,减少了操作步骤和地图

表7 不同地图制图方式对比

Table 7 Comparison of Different Cartographic Methods

地图制图方式	地图制作步骤	是否提供交互修改	是否需要用户具备专业知识
人工制作	选择制图数据,设计符号化方案,调整各图层属性	否	是
MapGPT	指定制图数据,设定各图层的符号化方案,修改可视化效果	是	是
智能制图框架	输入制图需求,输入修改需求	是	否

知识缺失等引发的制图问题。

与MapGPT[18]相比,本文的智能制图框架完成制图任务时对用户的制图专业知识背景要求更低,例如使用MapGPT绘制广东省行政区划图时,需要在提示工程中明确地图图名、使用的数据名称、数据类型和数据所在路径,对于地图中的每个制图数据文件,需要指定其符号化规则,并且其制图成果中符号与注记存在明显压盖,不能满足地图制图的专业需求。本文的智能制图框架以制图知识图谱作为知识库,能够理解用户的制图需求进行地图制图,在用户提出绘制武汉市交通地图的要求后直接进行制图数据选择、提供地图方案设计,使用专业制图工具进行冲突检测,减少地图元素压盖的情况,降低了使用者的专业性需求。

3 结 语

针对现有自动化制图系统交互能力低、专业性需求高和基于生成式人工智能的地图制图存在制图知识缺乏的问题,本文提出的集成知识图谱的制图框架能够提供复杂度低、交互性强的制图环境。以制作武汉市交通图为例,微调后的LLM能理解制图需求并提供简洁的交互环境,设计的制图工具集利用LangChain框架实现地图方案的设计及修改、制图数据的处理和自动成图,降低了制图过程中的专业性需求,作为外挂知识库的制图知识图谱能够有效约束制图策略的输出,提高地图生成的准确性。本文仅构建面向普通地图的制图知识图谱,下阶段工作将在扩展专题地图概念框架、提高制图知识获取效率等方面进行改进。

参 考 文 献

[1] BUTTENFIELD B P. Line Structure in Graphic and Geographic Space[D]. Seattle: University of Washington, 1984.

[2] FISHERP F, MACKANESS W A. Are Cartographic Expert Systems Possible?[C]//The 8th International Symposium on Computer-Assisted Cartography, Baltimore, USA, 1987.

[3] 王家耀, 吴战家, 武芳. 制图综合专家系统工具研究[J]. 解放军测绘学院学报, 1992, 9(4): 66-72.
WANG Jiayao, WU Zhanjia, WU Fang. The Research on Tools of the Cartographic Generalization Expert System[J]. *Journal of the Pla Institute of Surveying and Mapping*, 1992, 9(4): 66-72.

[4] KAZEMI S, LIM S, GE L. Integration of Cartographic Knowledge with Generalization Algorithms[C]//IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Seoul, Korea, 2005.

[5] 张岸, 朱俊锴. 新一代人工智能驱动下地图学研究的机遇与挑战[J]. 地球信息科学学报, 2024, 26(1): 35-45.
ZHANG An, ZHU Junkai. Opportunities and Challenges of Cartography Research Driven by New Generation Artificial Intelligence[J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2024, 26(1): 35-45.

[6] 孟立秋. 地图为人人,人人都制图[J]. 测绘科学技术学报, 2012, 29(5): 313-320.
MENG Liqiu. Map Serves Everybody and Everybody Makes Map[J]. *Journal of Geomatics Science and Technology*, 2012, 29(5): 313-320.

[7] 吴明光, 孙彦杰, 闾国年. 地图风格迁移: 概念、综述与展望[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2022, 47(12): 2069-2084.
WU Mingguang, SUN Yanjie, LÜ Guonian. Cartographic Style Transfer: Idea, Review and Envision[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2022, 47(12): 2069-2084.

[8] SONG J Q, LI J, CHEN H, et al. MapGen-GAN: A Fast Translator for Remote Sensing Image to Map via Unsupervised Adversarial Learning[J]. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2021, 14: 2341-2357.

[9] FU Y, LIANG S Z, CHEN D D, et al. Translation of Aerial Image into Digital Map via Discriminative Segmentation and Creative Generation[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2022, 60: 4703715.

[10] CHEN X, CHEN S Q, XU T, et al. SMAPGAN: Generative Adversarial Network-Based Semisupervised Styled Map Tile Generation Method[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2021, 59(5): 4388-4406.

[11] WANG C L, CHEN T J, LIU Y Q, et al. TransMI: A Transfer-Learning Method for Generalized

Map Information Evaluation[J]. *Cartography and Geographic Information Science*, 2025, 52(4): 370-386.

[12] 亢孟军，叶蕾，朱军，等. 一种顾及制图区域要素密度均衡的地图变换算法[J]. 武汉大学学报(信息科学版)，2022，47(12)：2096-2104.
KANG Mengjun, YE Lei, ZHU Jun, et al. An Improved Map Transformation Algorithm Considering the Balance of Features Density in Cartographical Region[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2022, 47(12): 2096-2104.

[13] SAHU M, OHRI A. Vector Map Generation from Aerial Imagery Using Deep Learning[J]. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2019, IV-2/W5: 157-162.

[14] BASTANI F, HE S, ABBAR S, et al. RoadTracer: Automatic Extraction of Road Networks from Aerial Images[C]//IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Salt Lake City, USA, 2018.

[15] TAN Y Q, GAO S H, LI X Y, et al. VecRoad: Point-Based Iterative Graph Exploration for Road Graphs Extraction[C]//IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Seattle, USA, 2020.

[16] SCHEIDER S, RICHTER K F. Pragmatic GeoAI: Geographic Information as Externalized Practice[J]. *Künstliche Intelligenz*, 2023, 37(1): 17-31.

[17] 张良培，张乐飞，袁强强. 遥感大模型：进展与前瞻[J]. 武汉大学学报(信息科学版)，2023，48(10)：1574-1581.
ZHANG Liangpei, ZHANG Lefei, YUAN Qiangqiang. Large Remote Sensing Model: Progress and Prospects[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2023, 48(10): 1574-1581.

[18] 杨必胜，陈一平，邹勤. 从大模型看测绘时空信息智能处理的机遇和挑战[J]. 武汉大学学报(信息科学版)，2023，48(11)：1756-1768.
YANG Bisheng, CHEN Yiping, ZOU Qin. Opportunities and Challenges of Spatiotemporal Information Intelligent Processing of Surveying and Mapping in the Era of Large Models[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2023, 48(11): 1756-1768.

[19] TAO R, XU J W. Mapping with ChatGPT[J]. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2023, 12(7): 284.

[20] ZHANG Y F, HE Z T, LI J X, et al. MapGPT: An Autonomous Framework for Mapping by Integrating Large Language Model and Cartographic Tools[J]. *Cartography and Geographic Information Science*, 2024, 51(6): 717-743.

[21] 周成虎，王华，王成善，等. 大数据时代的地学知识图谱研究[J]. 中国科学：地球科学，2021，51(7)：1070-1079.
ZHOU Chenghu, WANG Hua, WANG Chengshan, et al. Research on Geo-knowledge Map in the Age of Big Data[J]. *Scientia Sinica (Terrae)*, 2021, 51(7): 1070-1079.

[22] 王家耀. 地图科学技术：由数字化到智能化[J]. 武汉大学学报(信息科学版)，2022，47(12)：1963-1977.
WANG Jiayao. Cartography: From Digital to Intelligent[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2022, 47(12): 1963-1977.

[23] 张雪英，张春菊，吴明光，等. 顾及时空特征的地理知识图谱构建方法[J]. 中国科学：信息科学，2020，50(7)：1019-1032.
ZHANG Xueying, ZHANG Chunju, WU Mingguang, et al. Spatiotemporal Features Based Geographical Knowledge Graph Construction[J]. *Scientia Sinica (Informationis)*, 2020, 50(7): 1019-1032.

[24] YAO S Y, ZHAO J, YU D, et al. ReAct: Synergizing Reasoning and Acting in Language Models[C]//The 11th International Conference on Learning Representations, Kigali, Rwanda, 2023.

[25] HU E J, SHEN Y L, WALLIS P, et al. LoRA: Low-Rank Adaptation of Large Language Models[C]//International Conference on Learning Representations, Online, 2022.

[26] CORCHO O, FERNÁNDEZ-LÓPEZ M, GÓMEZ-PÉREZ A. Methodologies, Tools and Languages for Building Ontologies: Where Is Their Meeting Point?[J]. *Data & Knowledge Engineering*, 2003, 46(1): 41-64.

[27] SMITH R A. Designing a Cartographic Ontology for Use with Expert Systems[C]//Special Joint Symposium of ISPRS Technical Commission IV & AutoCarto 2010 in Conjunction with ASPRS/CaGIS 2010 Fall Specialty Conference, Orlando, USA, 2010.

[28] SUN J S, XU C J, TANG L M Y, et al. Think-on-Graph: Deep and Responsible Reasoning of Large Language Model on Knowledge Graph[C]//The 12th International Conference on Learning Representations, Vienna, Austria, 2024.