



武汉大学学报(信息科学版)

Geomatics and Information Science of Wuhan University

ISSN 1671-8860, CN 42-1676/TN

《武汉大学学报(信息科学版)》网络首发论文

题目：一种集成知识图谱和大语言模型的智能地图制图框架
作者：王孟琪, 李伯钊, 王振立, 刘松操, 廖成, 蔡忠亮
DOI: 10.13203/j.whugis20240266
收稿日期: 2024-12-28
网络首发日期: 2025-01-21
引用格式: 王孟琪, 李伯钊, 王振立, 刘松操, 廖成, 蔡忠亮. 一种集成知识图谱和大语言模型的智能地图制图框架[J/OL]. 武汉大学学报(信息科学版).
<https://doi.org/10.13203/j.whugis20240266>



网络首发: 在编辑部工作流程中, 稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定, 且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式(包括网络呈现版式)排版后的稿件, 可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定; 学术研究成果具有创新性、科学性和先进性, 符合编辑部对刊文的录用要求, 不存在学术不端行为及其他侵权行为; 稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准, 正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性, 录用定稿一经发布, 不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容, 只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认: 纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司签约, 在《中国学术期刊(网络版)》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版, 以单篇或整期出版形式, 在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊(网络版)》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物(ISSN 2096-4188, CN 11-6037/Z), 所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

DOI:10.13203/j.whugis20240266

引用格式：

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), 2025, DOI:10.13203/J.whugis20240266 (WANG Mengqi, LI Bozhao, WANG Zhenli, et al. An Automatic Cartography Framework Integrating Knowledge Graph and Large Language Model[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2025, 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性和制图知识缺失等问题。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、大语言模型为决策智能体、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；知识图谱；大语言模型；智能制图

An Automatic Cartography Framework Integrating Knowledge Graph and Large Language Model

WANG Mengqi¹ LI Bozhao^{1*} WANG Zhenli² LIU Songcao¹ LIAO Cheng¹ CAI Zhongliang¹

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

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

Abstract: Objectives: Previous research has explored the applications of Generative AI in cartographic tasks, such as using image translation models for map style transformation, employing image diffusion models to convert textual descriptions into map images, and utilizing large language models (LLMs) as cartographic assistants to understand user requirements and operate professional cartographic tools. These studies have demonstrated the feasibility of applying Generative AI to cartographic tasks, although issues such as inaccuracies in map generation and the absence of cartographic knowledge persist. **Methods:** In response to the problem of the lack of cartographic knowledge in existing generative artificial intelligence for map-making tasks, a cartographic framework that integrates cartographic rules is

收稿日期：2024-12-28

项目资助：国家重点研发计划课题 (2021YFB2501101)

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

通讯作者：李伯钊，博士，副研究员。libozhao@whu.edu.cn

proposed. The cartographic knowledge graph is taken as an external knowledge base, and based on the ReAct framework, the automatic reasoning of cartographic strategies, map generation, and user-interactive modifications are to be achieved. After analyzing and evaluating the cartographic capabilities of existing large language models, it is found that there are problems such as a scarcity of cartographic concepts, unstable content output, and a lack of computing and operational capabilities when directly using large language models for map-making tasks. Inspired by the existing cartographic process, the overall cartographic process of cartographic strategy generation, interactive modification, map result generation is designed, and a cartographic framework is determined, with the knowledge graph as the decision-making basis, the large language model as the decision-making agent, and Langchain and cartographic plugins as the decision-making executors. **Results:** The framework achieves an intelligent cartographic process encompassing strategy generation, interactive modification, and map result generation. **Conclusions:** Experimental results validate the effectiveness of incorporating cartographic knowledge in AI-generated map tasks. Future work will focus on enhancing map datasets and exploring spatial representation methods for geospatial data.

Key words: Cartography; Knowledge graph; Large Language Model; 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的问题^[6,7],研究者们关注基于视觉领域的图像翻译模型完成地图生成任务^[8-10],或是将深度学习方法应用于传统制图任务^[11-13]。

不同于传统制图流程,图像翻译模型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,主要分为基于语义分割的转换和基于图像到图像的转换。前者使用语义分割方法,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^[14-16]。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;后者将航空图像和对应区域的在线地图视为不同域的图像,基于生成式对抗网络(Generative Adversarial Networks, GANs)进行图像翻译(img2img),例如Ganguli等人^[8]利用带有内容和样式损失的条件GANs模型,从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。Chen等人^[10]提出使用半监督学习策略的风格化地图瓦片的生成方法,该模型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生成质量。Fu等人^[9]受到人工标注流程的启发,提出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。此类研究生成的地图结果具有逼真的地图风格,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：缺乏实用性和制图知识的明确表示^[17]。大语言模型（Large Language Model, LLM）涌现的上下文学习、指令遵循、逐步推理等能力，为实现智能地图制图带来新的启发^[18,19]。Tao 等人^[20] 对利用 ChatGPT制作地图进行了试点研究，测试了利用给定或公共地理空间数据设计专题地图，以及纯粹利用地理空间的文字描述绘制心理地图。结果证明 ChatGPT有能力为地图制作提供解决方案，降低地图制作门槛，提高了大规模地图制作的效率。Zhang 等人^[21] 提出了一种 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大语言模型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^[22-24]。周成虎院士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^[22]。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，结合大语言模型的上下文学习能力，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质领域的知识图谱^[25,26]，但是结合知识图谱与大语言模型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修改的问题，本文提出一种集成制图知识图谱和大语言模型的智能制图框架：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，利用显式制图知识增强大语言模型应用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 ReAct^[27]方法和 LangChain 框架利用大语言模型调用不同制图工具，实现制图需求理解、制图策略推理与交互式修改、地图成果生成的智能制图流程，整体制图过程以自然语言进行交互，以降低地图制图任务中对用户的专业性需求。

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、地图成果制作三部分（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。

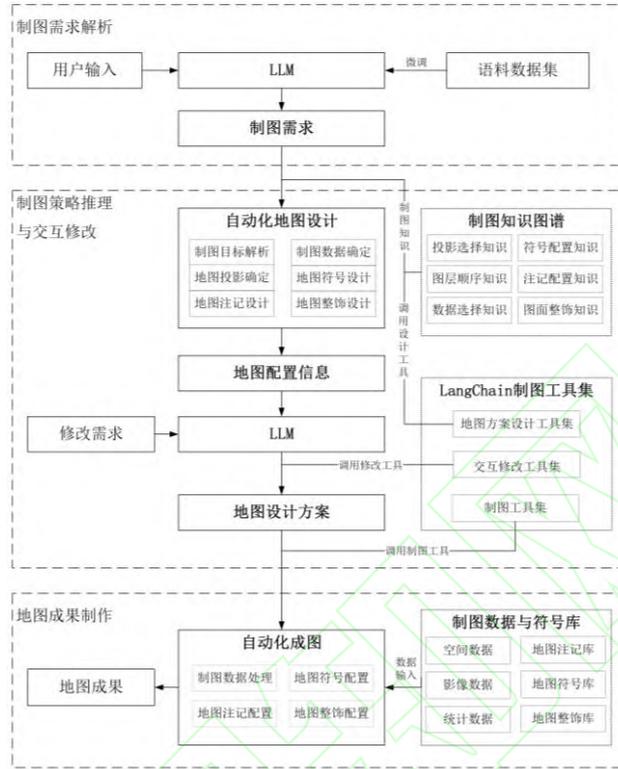


图 1 集成 LLM 的制图框架

Fig 1. Cartographic Framework Integrated with LLM.

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 LoRa (Low-Rank Adaptation of Large Language Models) 方法^[28]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。

对于具有大量参数的语言模型，更新权重时存在一个低维度的内在秩 (Intrinsic rank)，原始权重 W_0 的更新可以实现低秩分解如式 (1) 所示，其中 W_0 是原始权重矩阵， ΔW 代表相对于原始权重的增量调整， A 、 B 是较小矩阵，通过训练 A 和 B 两个矩阵来确定增量， r 代表 LoRa 模块的秩， $W_0 \in R^{d \times k}$ ， $B \in R^{d \times r}$ ， $A \in R^{r \times k}$ 。

$$W_0 + \Delta W = W_0 + BA \quad (1)$$

分解后更新模型参数时可等价于式 (2)，对模型的微调即是训练矩阵 A 和矩阵 B 。训练期间冻结原始模型权重，不接收梯度更新， A 、 B 包含可训练参数，将训练出的 A 、 B 矩阵独立存储，根据下游任务切换对应 LoRa 模块。

$$h = (W_0 + \Delta W) x = W_0 x + BAx \quad (2)$$

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 形式对抽取的结果进行形式化输出。

1.2 制图策略推理与迭代优化

为提供先验制图知识约束 LLM 输出，本文以七步法方法体系^[29]为依据，采用自顶向下的构建逻辑构建制图知识图谱，设计包括地图元素、制图数据、地图符号、地图投影和地图影响因素概念本体（见表 1）。

表 1 面向地图制图的本体设计

Tab 1 Ontology Design for 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

概念间的关系定义以 Richard^[30] 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理。例如：包含关系和被包含、影响和被影响。其次父子类之间继承关系，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，前者由制图人员的分解得到地图、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（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。制图知识图谱中的关系继承对应本体层关系，实体化时查询所属类或父类间关系。地图本体的概念信息以 Class 实体保存，不同层次的制图概念以 SubClassof 关系进行关联，具体制图实体和制图概念使用 Instanceof 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，便于大语言模型进行制图知识挖掘。其中制图区域间相似关系以行政区划为基础，将四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 BERT 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(Think-on-Graph, ToG)^[31]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，交互 Neo4j 图数据库进行制图策略推理。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，交互 Neo4j 数据库进行查询，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 的形式进行存储；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，确定本次制图所需数据的类型，并以制图任务 ID 为依据，存储数据选取信息到数据配置表中；`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（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，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

Tab 2 Tools for Map Design

工具名称	工具描述
<code>analysis_map_damand</code>	制图需求解析，拆分制图区域、主题等要素，JSON 形式保存，创建制图任务 ID
<code>map_data_design</code>	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
<code>map_design</code>	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），以实现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 将知识库内查询到对应的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 形式的修改结果；`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 形式展示；`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 形式的修改结果；`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。

表 3 交互修改工具集

Tab 3 Tools for Interactive Modification

工具名称	工具描述
<code>modify_map_apperance</code>	查询配置库内整饰类型的参数信息，以 JSON 形式输出修改结果
<code>modify_symbol</code>	查询配置库内符号参数信息，以 JSON 形式输出修改结果
<code>modify_anno</code>	查询配置库内注记参数信息，以 JSON 形式输出修改结果
<code>remove_map_data</code>	删除地图数据、地图符号、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，首先从空间数据库抽取目标数据，通常制图目标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、经纬线的计算以及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 `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 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 子程序以启动 ArcPy 环境，通过开发的脚本实现制图数据抽取和裁切、指定地图投影的坐标转换以及添加图廓线、经纬网等处理过程，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

Tab 4 Tools for Map Processing

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 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、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 2000 个问答对；制图能力测试集从地图制图（25 个）、地图投影（40 个）、制图综合（23 个）、空间数据库（14 个）、地图可视化（16 个）、计算机制图（14 个）等类型设计 132 个相关问题，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，前者通过制图人员的分析，分解为地图数据等实体，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有效性实验，采用自然资源部公开的全国 1:25 万公众版基础地理数据，原始数据地理空间参考为 CGCS2000，1985 国家高程基准。

表 5 实验数据类型

Tab 5 Datasets Used in This Study

数据集名称	数据集组成	数据集用途
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	测试微调前后大语言模型在制图领域的应用能力
现有地图成果	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

实验硬件资源为 Intel64 2.3GHz 处理器，256GB 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，LLM 开发框架 LangChain 0.1.0，可视化开发版本 Streamlit 1.29.0，数据预处理使用开发包 ArcPy 2.7，制图插件运行环境 CorelDraw X8。

2.2 制图知识表示

知识图谱构建基于 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。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 Class 实体保存在知识图谱中，不同层次的制图概念间以 SubClassOf 关系连接，具体的地图实体以 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，通过相应概念间关系查询实现新实体构建关系的自动化，最终构建共计 5017 个实体和 6059 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。

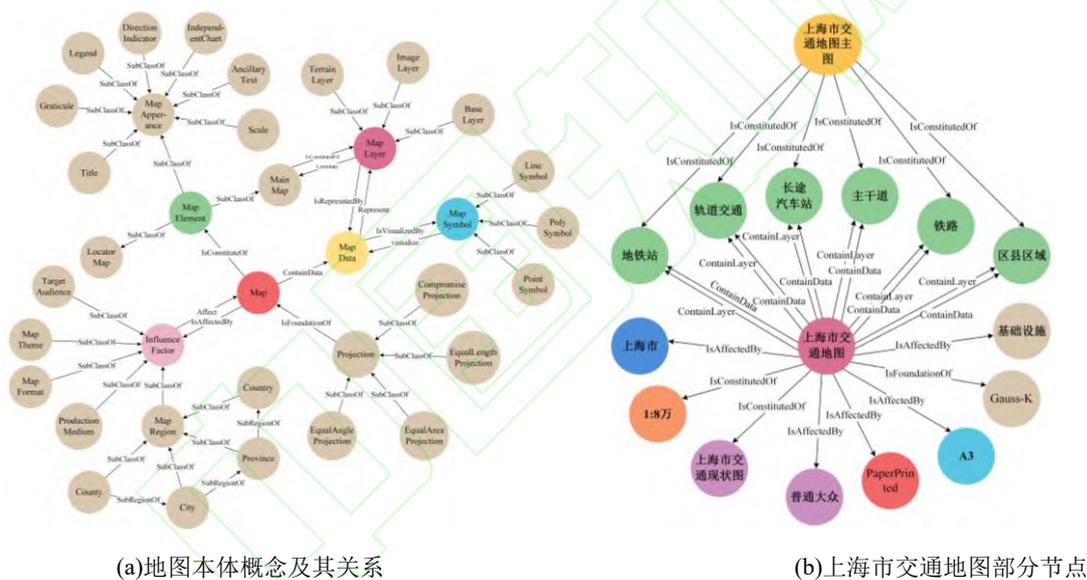


图 2 知识图谱本体及部分节点示例

Fig 2. Examples of Knowledge Graph Ontology and Some Nodes

2.3 制图需求解析

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，训练后结果显示模型在回答制图相关问题时更具体和专业，例如在提问“陆地交通中铁路要素的表达方式”时，微调前回答过于宽泛，微调后的回答更符合地图制图专业性（见表 6）。共计使用 132 个制图领域概念理解、场景问答、过程求解类型和数据计算的问题对微调后的大语言模型进行测试，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 个问题回答较为简略。

表 6 微调前后问答对比案例

Tab 6 Fine-tuning Q&A Case Comparison

问题示例	微调前回答	微调后回答
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、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，以区别于公路、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。我国大、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。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。其定位方法主要有以下几种：1.绝对定位：这种方法是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。这通常用于全球定位系统（GPS）中的导航或地理信息系统（GIS）中。2.相对定位：如果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 米处，这里的“东边 500 米就是相对于公园的一个相对位置 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，点状符号可能会随着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位置。（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。

制图需求分析工具首先以提示模板方式对用户需求进行解析，并构建 JSON 对象，以制作武汉市交通图为例(见图 3)，解析后制图区域为武汉市，地图主题为交通图，未指定内容以空形式表示，为后续工具提供基础制图需求信息。具体实现使用 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。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形式表示，确保 JSON 对象的完整性。通过自定义 COT 方式可以有效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。

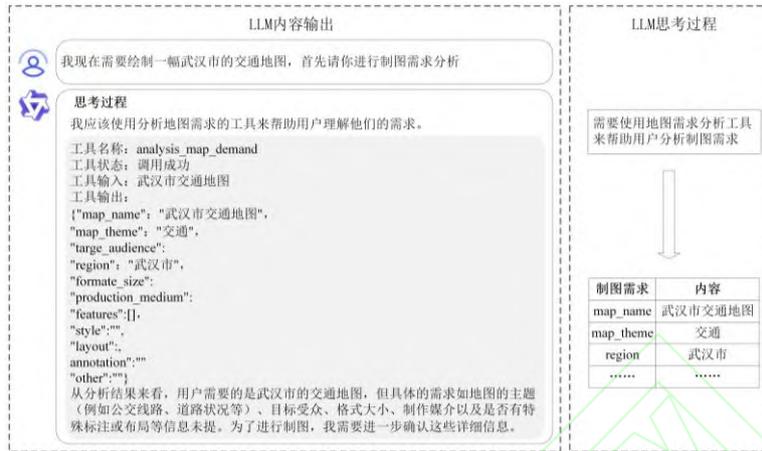


图 3 制图需求解析结果

Fig 3. Results of Cartographic Requirement Analysis

2.4 制图决策推理及交互修改

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，检索图数据库后输出符号、注记等配置信息。以武汉市交通图中地图符号设计为例（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，最终推荐上海市交通图的地铁符号信息。



图 4 地图符号设计工具运行结果

Fig 4. Results of Map Symbol Design Tools

交互式修改工具设计为独立的 Chain 对象，通过提示模板按照用户需求调整相应设计。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）。



图 5 线符号修改工具运行结果

Fig 5. Results of the Line Symbol Modification Tool

2.5 数据处理和自动化制图

制图数据选择自然资源部 1:25 万全国基础地理数据库中湖北省部分，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。根据需求解析后的制图区域等信息，完成数据抽取和裁切、地图投影的坐标转换、增加图廓线、经纬网、主区增加色带等预处理工作。依据处理后数据、地图设计输出的配置库和现有符号库，通过 LangChain 调用 CorelDraw 制图插件自动完成地图成果输出（见图 6）。



图 6 数据处理和自动化制图结果

2.6 对比实验与分析

为验证制图框架有效性，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（见表 7）。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使用教程、了解各参数信息和配置方法。普通用户因为缺少制图专业背景，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；智能框架制图组中，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地图设计方案，制图人员输入修改需求的文本，即可得到相应参数修改后配置的配置表，减少了操作步骤和地图知识缺失引发的制图问题。

与 MapGPT^[19]相比，本文的智能制图框架进行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，减少地图元素压盖情况，降低了使用者的专业性需求。

表 7 不同制图方式对比

Tab 7 Comparison of Different 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

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，微调后的大语言模型可以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 框架实现地图方案设计及修改、制图数据处理和自动成图，降低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输出，提高地图生成的准确性。本研究仅构建面向普通地图的制图知识图谱，下阶段工作将从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. Line structure in graphic and geographic space[C/OL]. 1984[2024-05-07]. <https://www.semanticscholar.org/paper/Line-structure-in-graphic-and-geographic-space-Buttenfield/484e10bb90dfd3710235bd7ff4f825560ab2eb40>.
- [2] FISHER P, MACKANESS W. Are Cartographic Expert Systems Possible[C/OL]. 1987[2024-05-07]. <https://www.semanticscholar.org/paper/Are-Cartographic-Expert-Systems-Possible-Fisher-Mackaness/85f3c3b7ad6fde3f12da47023f50c130e4b77baf>.
- [3] 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.(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(4): 66-72.)
- [4] KAZEMI S, LIM S, GE L. Integration of cartographic knowledge with generalization algorithms[C/OL]//Proceedings. 2005 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2005. IGARSS '05.: Vol. 5. 2005: 3502-3505[2024-05-07]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/1526600>. DOI:10.1109/IGARSS.2005.1526600.
- [5] Zhang An, Zhu Jukai. Opportunities and challenges of cartography research driven by new generation artificial intelligence[J]. Journal of Geoinformation Science,2024,26(1):35-45. DOI:10.12082/dqxxkx.2024.240128(张岸, 朱俊楷. 新一代人工智能驱动下地图学研究的机遇与挑战[J/OL]. 地球信息科学学报, 2024, 26(1): 35-45. DOI:10.12082/dqxxkx.2024.240128.)
- [6] MENG Liqiu. The Constancy and Volatility in Cartography[J].Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2017, 46(10):16371644. DOI:10.11947/j.AGCS.2017.20170359.(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+391.)
- [7] Wu Mingguang, Sun Yanjie, Lv Guonian. Cartographic Style Transfer:Idea, Review and Envision[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2022,47(12): 2069-2084. DOI:10.13203/j.whugis20220439(吴明光, 孙彦杰, 阎国年. 地图风格迁移: 概念、综述与展望[J/OL]. 武汉大学学报(信息科学版), 2022, 47(12): 2069-2084. DOI:10.13203/j.whugis20220439.)
- [8] GANGULI S, GARZON P, GLASER N. GeoGAN: A Conditional GAN with Reconstruction and Style Loss to Generate Standard Layer of Maps from Satellite Images[A/OL]. arXiv, 2019[2024-05-13]. <http://arxiv.org/abs/1902.05611>.
- [9] FU Y, LIANG S, CHEN D, et al. Translation of Aerial Image Into Digital Map via Discriminative Segmentation and Creative Generation[J/OL]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2022, 60: 1-15. DOI:10.1109/TGRS.2021.3110894.
- [10] CHEN X, CHEN S, XU T, et al. SMAPGAN: Generative Adversarial Network-Based Semisupervised Styled Map Tile Generation Method[J/OL]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2021, 59(5): 4388-4406. DOI:10.1109/TGRS.2020.3021819.
- [11] WANG Jiayao.Cartography in the age of spatio-temporal big data[J].Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2017,46 (10):1226-1237.DOI:10.11947/j.AGCS. 2017.20170308.(王家耀. 时空大数据时代的地图学[J]. 测绘学报, 2017, 46(10): 1226-1237.)
- [12] WANG C, CHEN T, LIU, Y, et al. TransMI: a transfer-learning method for generalized map information evaluation[J/OL]. Cartography and Geographic Information Science, 2024, 0(0): 1-17. DOI:10.1080/15230406.2024.2306827.
- [13] 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. DOI: 10.13203/j. whugis20220022(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/OL]. 武汉大学学报(信息科学版), 2022, 47(12): 2096-2104. DOI:10.13203/j.whugis20220022.)
- [14] SAHU M, OHRI A. VECTOR MAP GENERATION FROM AERIAL IMAGERY USING DEEP LEARNING[J/OL]. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2019, IV-2/W5: 157-162. DOI:10.5194/isprs-annals-IV-2-W5-157-2019.
- [15] BASTANI F, HE S, ABBAR S, et al. RoadTracer: Automatic Extraction of Road Networks from Aerial Images[C/OL]//2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2018: 4720-4728[2024-05-10]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8578594>. DOI:10.1109/CVPR.2018.00496.
- [16] TAN Y Q, GAO S H, LI X Y, et al. VecRoad: Point-Based Iterative Graph Exploration for Road Graphs Extraction[C/OL]//2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2020: 8907-8915[2024-05-10]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9157398>. DOI:10.1109/CVPR42600.2020.00893.
- [17] SCHEIDER S, RICHTER K F. Pragmatic GeoAI: Geographic Information as Externalized Practice[J/OL]. KI - Künstliche Intelligenz, 2023, 37(1): 17-31. DOI:10.1007/s13218-022-00794-2.
- [18] 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.DOI:10.13203/j.whugis20230341(张良培, 张乐飞, 袁强强. 遥感大模型: 进展与前瞻[J/OL]. 武汉大学学报(信息科学版), 2023, 48(10): 1574-1581. DOI:10.13203/j.whugis20230341.)
- [19] 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.DOI:10.13203/j.whugis20230378(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/OL]. 武汉大学学报(信息科学版), 2023, 48(11): 1756-1768. DOI:10.13203/j.whugis20230378.)
- [20] TAO R, XU J. Mapping with ChatGPT[J/OL]. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2023, 12(7): 284. DOI:10.3390/ijgi12070284.

-
- [21] ZHANG Y, HE Z, LI J, et al. MapGPT: An Autonomous Framework for Mapping by Integrating Large Language Model and Cartographic Tools[A/OL]. (2024-02-05). DOI:10.13140/RG.2.2.24858.62407.
- [22] Zhou Chenghu, Wang Hua, Wang Chengshan, et al. 2021. Geoscience knowledge graph in the big data era. Science China Earth Sciences, 64(7): 1105–1114, <https://doi.org/10.1007/s11430-020-9750-4>(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.)
- [23] WANG Jiayao.Cartography: From Digital to Intelligent[J].Geomatics and Information Science of Wuhan University,2022,47(12): 1963-1977.DOI:10.13203/j.whugis20220780(王家耀. 地图科学技术:由数字化到智能化[J/OL]. 武汉大学学报(信息科学版), 2022, 47(12): 1963-1977. DOI:10.13203/j.whugis20220780.)
- [24] WANG Jiayao,WU Fang,YAN Haowen.Cartography:its past,present and future[J].Acta Geodaetica et Cartographica Sini-ca,2022,51(6):829-842.DOI:10.11947/j.AGCS.2022.20210661.(王家耀, 武芳, 闫浩文. 大变化时代的地图学[J]. 测绘学报, 2022, 51(6): 829-842.)
- [25] JIANG Bingchuan,WAN Gang,XU Jian,et al.Geographic Knowledge Graph Building Extracted from Multi-sourced Heterogeneous Data[J].Acta Geodaetica et Cartographica Sinica,2018,47(8):1051-1061.DOI:10.11947/j.AGCS.2018.20180113.(蒋秉川, 万刚, 许剑, 等. 多源异构数据的大规模地理知识图谱构建[J]. 测绘学报, 2018, 47(8): 1051-1061.)
- [26] Zhang Xueying, Zhang Chunju, Wu Mingguang, et al. Spatio-temporal features based geographical knowledge graph construction (in Chinese). Sci Sin Inform, 2020, 50: 1019–1032, doi: 10.1360/SSI-2019-0269(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.)
- [27] YAO S, ZHAO J, YU D, et al. ReAct: Synergizing Reasoning and Acting in Language Models[A/OL]. arXiv, 2023[2023-12-15]. <http://arxiv.org/abs/2210.03629>. DOI:10.48550/arXiv.2210.03629.
- [28] HU E J, SHEN Y, WALLIS P, et al. LoRA: Low-Rank Adaptation of Large Language Models[A/OL]. arXiv, 2021[2024-07-09]. <http://arxiv.org/abs/2106.09685>.
- [29] NOY N. Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology[C/OL]. 2001[2024-08-16]. <https://www.semanticscholar.org/paper/Ontology-Development-101%3A-A-Guide-to-Creating-Your-Noy/c15cf32df98969af5eaf85ae3098df6d2180b637>.
- [30] SMITH R. DESIGNING A CARTOGRAPHIC ONTOLOGY FOR USE WITH EXPERT SYSTEMS[C/OL]. 2010[2024-07-11]. <https://www.semanticscholar.org/paper/DESIGNING-A-CARTOGRAPHIC-ONTOLOGY-FOR-USE-WITH-Smith/585363785e11a947864a8a02187a9fd174c2d5ca>.
- [31] SUN J, XU C, TANG L, et al. Think-on-Graph: Deep and Responsible Reasoning of Large Language Model on Knowledge Graph[A/OL]. arXiv, 2024[2024-07-08]. <http://arxiv.org/abs/2307.07697>. DOI:10.48550/arXiv.2307.07697.

网络首发:

标题: 一种集成知识图谱和大语言模型的智能地图制图框架

作者: 王孟琪, 李伯钊, 王振立, 刘松操, 廖成, 蔡忠亮

收稿日期: 2024-12-28

DOI:10.13203/j.whugis20240266

引用格式:

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), 2025, DOI:10.13203/J.whugis20240266 (WANG Mengqi, LI Bozhao, WANG Zhenli, et al. An Automatic Cartography Framework Integrating Knowledge Graph and Large Language Model[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2025, DOI:10.13203/J.whugis20240266)

网络首发文章内容和格式与正式出版会有细微差别, 请以正式出版文件为准!

您感兴趣的其他相关论文:

顾及时空关系的事故灾难事理图谱构建方法研究

宁慧涵, 眭海刚, 王金地, 胡烈云, 刘金硕, 刘俊怡

武汉大学学报(信息科学版), 2024, 49(5): 831-843.

<http://ch.whu.edu.cn/article/doi/10.13203/j.whugis20230291>

高精地图的知识图谱表达

齐如煜, 尹章才, 顾江岩, 陈毅然, 应申

武汉大学学报(信息科学版), 2024, 49(4): 651-661.

<http://ch.whu.edu.cn/article/doi/10.13203/j.whugis20230308>

多模态数据的洪涝灾害知识图谱构建与应用

沈伟豪, 钟燕飞, 王俊珏, 郑卓, 马爱龙

武汉大学学报(信息科学版), 2023, 48(12): 2009-2018.

<http://ch.whu.edu.cn/article/doi/10.13203/j.whugis20220509>

