引文格式：刘瞻,付饶,鲁俊杰,等. 武汉市国土空间用途管制时序图谱构建与应用研究[J]. 地理空间信息, 2023, 21(11): 52-55. doi:10. 3969/j. issn. 1672-4623.2023.11.012

武汉市国土空间用途管制时序图谱构建与应用研究

刘　瞻[1]，付　饶[1]，鲁俊杰[1]，邓惠芬[2]，杨晔轩[1]
（1. 武汉市自然资源和规划信息中心，湖北 武汉 430014；2. 湖北省空间规划研究院，湖北 武汉 430071）

摘　要：国土空间用途管制作为落实国土空间规划、提升空间治理水平的重要手段，已成为国家推进空间治理体系和治理能力现代化的一项基本制度。现有基于关系型数据的用途管制信息管理和利用方式，已难以满足其全域、全要素、全流程数字化转型的要求。以武汉市为例，研究了面向用途管制的时序图谱构建的关键技术和流程，提出了时序图谱链接国土空间用途管制空间单元和各管理环节信息的技术方法，为国土空间用途管制全周期监管、数字化转型和智能化提升提供了可行的思路和实践参考。

关键词：国土空间；用途管制；时序图谱；全周期
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2023）11-0052-04

Research on the Construction and Application of Temporal Knowledge Graph of Territorial Space Use Control in Wuhan City

LIU Zhan[1], FU Rao[1], LU Junjie[1], DENG Huifen[2], YANG Yexuan[1]
(1. Wuhan Natural Resources and Planning Information Center, Wuhan 430014, China;
2. Hubei Spatial Planning Research Institute, Wuhan 430071, China)

Abstract: As an important means to implement territorial spatial planning and improve spatial governance, the territorial space use control has become a basic system for the country to promote the modernization of spatial governance system and governance capacity. The existing information management and utilization methods of use control based on relational data have been difficult to meet the requirements of digital transformation of the whole area, elements and processes. Taking Wuhan City for example, we researched the key technology and process of temporal knowledge graph of use control construction, and proposed a technical method to connect the spatial units of use control and information of each management link through temporal knowledge graph, which could provide feasible ideas and practical references for the full-cycle supervision, digital transformation and intelligent improvement of territorial space use control.

Key words: territorial space, use control, temporal knowledge graph, full-cycle

国土空间用途管制是指以总体规划、详细规划为依据，对陆海所有国土空间的保护、开发和利用活动，按照规划确定的区域、边界、用途和使用条件等，核实行政许可、进行行政审批等。2021年自然资源部办公厅发布的《国土空间用途管制数据规范（试行）》提出，构建“全域、全要素、全流程、全生命周期”的用途管制数据体系。近年来，武汉市自然资源和规划局通过开展审批服务“一条龙”、“大集中”改革，在探索用途管制全周期管理等方面取得了一定成效，但仍存在用途管制各环节难以高效、精准关联，许可审批与规划编制、事中事后监管全链统筹管理缺乏有效技术手段等问题。随着改革与应用的不断深入，以关系型数据为基础的链式管理和以树形结构管理项目的模式已无法满足最新要求。图谱在建立复杂数据实体映射关系、挖掘实体之间隐藏关联等方面具有一定优势，逐步成为数据挖掘、知识计量的新技术手段。本文通过引入知识图谱技术链接空间单元和各管理环节信息，提出了国土空间用途管制时序图谱的构建方法，探索了国土空间用途管制时序图谱在信息融合、知识推理和时空分析等方面的应用，取得了良好效果。

1　用途管制时序图谱的构建方法

1.1　图谱构建思路

原始数据通常需经过数据整合、知识抽取（实体抽取、关系抽取）、知识融合（实体对齐）、数据模型构建、质量评估等步骤，最终形成基于实体、客体和关系的静态三元组(s,r,o)的知识表示。国土空间用途管

收稿日期：2023-05-18。
第一作者简介：刘瞻（1979—），高级工程师，主要从事自然资源和规划电子政务、智慧城市工作，E-mail：butear@yeah.net。

制全周期管理具有很强的时空特征，各阶段具有明确的空间位置，且许可行为和监管与时序高度相关，因此将时间信息嵌入到传统知识图谱的静态三元组中，以四元组(s,r,o,t)表达国土空间用途管制各阶段信息及其关联关系，有助于蕴涵其实体、空间随时间变化的复杂逻辑关系信息。不同于通用领域图谱基于泛在文本的NLP提取构建方法，本文以武汉市已良好组织的许可结构化数据为基础构建用途管制实体和关系；以项目审批为主线、行政许可为内核、空间为载体、时序为参考，划分科学可行的知识粒度，采用空间分析和语义匹配方法形成用途管制各阶段、各节点及其相关管理环节的多链路图谱，服务于国土空间用途管制全周期管理。

1.2　用途管制实体与属性提取

国土空间用途管制实体的分类和定义确定了知识图谱的管理范围和粒度。通过综合分析国土空间用途管制在审批服务、全周期监管、信息共享共用等场景下的应用要求与特点，本文将用途管制知识实体分为4大类32小类（表1）。基于上述实体定义，通过命名实体识别（NER）任务加人工辅助的方式，从自然资源和规划行政审批、规划编制、行政办公以及各类专题数据中识别、提取和构建实体。根据自然资源部《国土空间用途管制数据规范（试行）》和武汉市现阶段数据基础，明确了各实体类型共1 100余项的属性，按照图（空间信息）、文（文档资料）、数（核心数据）3种形式收录并与实体进行关联。

表1　国土空间用途管制实体分类

一级类	二级类
行政审批	建设项目用地预审与选址意见书、农用地转用和土地征收实施方案报批、土地征收公告、规划设计条件、国有建设用地供应审批、建设用地规划许可、规划设计方案审查、不动产登记、建设工程规划许可、规划条件核实、乡村建设规划许可
技术服务	1∶2 000地形图提供、用地和空间规划论证、权籍调查、勘测定界报告、编制农用地转用和土地征收实施方案、供地附图测量、绘制规划“五线”、核发成交确认书、批前公示、核位红线、建设工程定位放线和验线、竣工测量
监管处罚	承诺制抽查、证照核验、批后巡查
行政管理	公文、会议、依申请信息公开、信访诉求、行政案件、议提案办理

1.3　基于双向时序空间交会的关系构建

通用领域知识图谱基于机器学习、NLP语义分析的关系提取方法，难以处理国土空间用途管制领域实体之间的复杂时空关系，因此本文提出一种双向时序空间交会算法，用以构建用途管制实体间的复杂网络化关系。算法主要步骤为：①通过空间关系和语义关系构建项目备选实体集、R树空间索引，并按时间排序；②选取某一实体作为初始节点，递归计算初始节点与正向时序相邻实体的空间拓扑、时序和语义等关系（表2），关系成立归入结果集；③由结果集按照反向时序递归计算关系，验证并补齐形成最终实体关系集。算法一般但不限定选取项目审批的起始许可作为初始节点，起始许可因项目类型不同而有所不同。实际处理中可选取随机实体作为初始节点计算交叉验证实体关系，规避历史数据中因起始许可缺失或时序错误带来的影响。分析最终结果集可知，多种类型的实体与关系表现出组合特征和内聚性，与审批项目分类相对应。

表2　国土空间用途管制实体关系表

实体关系	空间拓扑关系	时序关系	语义关系	备注
续办	相等	正向时序	强关联	下一个许可的连续办理，其用地指标相同
分期	包含于	正向时序	弱关联	项目分多个阶段进行建设，其用地指标小于前一阶段
拆分	包含于	正向时序	弱关联	一个项目分成多个不同项目进行建设，指标不同于前一阶段
合并	完全包含	反向时序	弱关联	多个不同项目合并成一个项目，项目指标不同于前一阶段
相关	相交	–	弱关联	其他具有空间属性的用途管制实体与所选取的实体具有空间和语义联系

时间元素的引入，不仅扩展了用途管制图谱的知识表达，而且是分析计算实体关系的重要参考，分解为单向时序的递归运算可极大提高海量数据的计算效率，正向时序交会快速构建实体关系的多链路结构，反向时序交会链接链路形成网络结构。双向时序空间组合分析主要解决两方面问题：①在空间管理单元（地块）和审批许可过程–映射的基础上，建立实体间分拆、合并的多元关系，反映用途管制的实施路径；②通过双向回溯机制有效衔接空间准入、用途转换与规划实施阶段，加强不同类型项目之间的联系，将单一的实体关联关系转换为带有时间序列和方向的全流程链接信息，实现国土和规划业务的全流程关联。

1.4　关联实体嵌入

对于国土空间用途管制中技术服务、监管处罚、

行政管理等不具备空间属性的实体，通过神经网络检索方法实现基于机器学习的辅助关联。相较于传统文本匹配方法，神经网络检索将文档或数据集中的信息用神经网络进行学习和编码，度量语义相似度来实现快速准确的检索。实体关联的主要步骤为实体的语义特征提取、向量检索召回和结果重排。采用基于Bert的双重交互编码器，分别嵌入查询实体和待匹配实体的属性文本，以审批、公文、信访、批后监管、法律规范等政务数据为样本语料进行领域学习和微调，生成富含语义特征和配对信息的同维度语义空间向量；检索阶段采用面向稠密向量的近似最近邻算法，从大规模数据中高效召回与给定实体向量归一化点乘距离最近的向量集；重排阶段采用交叉编码器对文本对进行训练编码，以更细粒度地捕获原序列和配对序列之间的交互信息，从而提高语义匹配的准确性；最后将关联实体按时序嵌入图谱，实现机器辅助的关联实体自动聚合。

1.5 时序图谱的构建流程

国土空间用途管制时序图谱的构建流程主要包括数据采集、数据预处理、实体与属性提取、实体关系构建、时序图谱检查与更新、时序图谱数据持久化和时序图谱的检查与更新（图1）。实体和关系的更新采用批处理与流处理相结合的方式，即采用离线处理方式批量构建和整体检查用途管制时序图谱的实体信息（图、文、数）和关联关系，定期排查实体缺失、错链、漏链等情况，保证用途管制时序图谱的准确性；在用途管制许可、监管等条件触发后，在线实时生成新增实体关系，通过插入和更新时序图谱库进行检查。

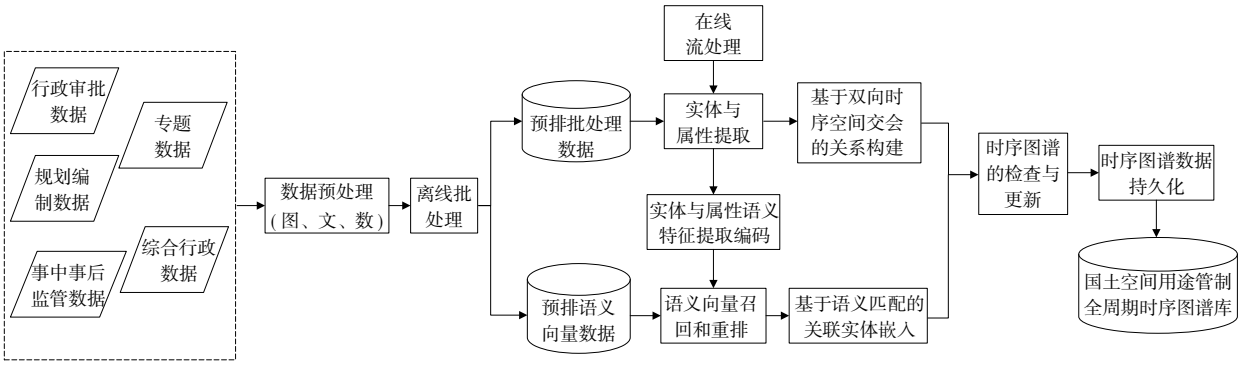


图1 武汉市国土空间用途管制时序图谱构建流程图

2 时序图谱应用

2.1 用途管制信息融合

国土空间用途管制时序图谱汇聚了用途管制中的多源异构数据，将不同尺度的数据对齐，消除冲突和重复，构建复杂关系知识网络，为用途管制全周期信息提供直观可视化表达和高效即席查询，可根据单个实体快速检索项目全貌信息；基于语义相似度、平移距离模型等算法将用途管制时序图谱不同类型和尺度的数据对齐并融合，形成项目资源库，建立项目资源关联引用关系，实现“零资料”办理模式；基于时序图谱探索指标智能融合，实现项目后序审批服务环节同类指标直接从前序环节继承引用。围绕项目管理和决策分析的主题和场景，实现项目分期指标的跟踪、回溯、监管和风险预警，提升核心指标信息的精细化、智能化管理水平。

2.2 时序图谱的知识推理

通过规则挖掘对用途管制时序图谱进行链路分析与预测、关联关系推理与冲突检测，以实现国土空间用途管制领域的知识推理。基于路径排序等算法的图结构推理方法，运用历史项目样本开展大量训练，实现不同类型项目办理的智能导航和精准研判。根据即有实体关系推理下一时序环节，提醒下游环节人员提前介入、主动服务，保障重大项目顺利落地；基于不完备知识库的关联规则挖掘等算法的逻辑规则推理方法预测实体之间潜在关系，建立项目分期、分批关系，为项目指标“一条龙”监测与管控提供支撑；基于NTN、GNN等模型的神经网络推理方法，结合建设用地全生命周期管制规则、监测指标和评价模型，推理得到征供地率、闲置用地处置率、开竣工率等情况，实现建设用地利用的动态监测、实时预警和精准处置。

2.3 用途管制时空分析

国土空间用途管制时序图谱在时序、空间上的扩展和融合，可反映项目和地块在时间和空间维度上的关联演变。基于时序图谱的时空特性，结合用途管制项目的R树空间索引，分析用途管制时序图谱的时空关联规则以及不同时间刻度下项目或地块的时空切片，辅助构建以地块码为核心，涵盖业务码、空间码和要素码的

“一码管地”编码体系，实现地块赋码推进全周期管理。基于项目时序图谱可动态推演国土空间用途、用地变化情况和项目的实施过程，建立项目地块的时空变换过程，有助于规划传导与审批实施反馈，为国土空间规划实施监管和城市体检评估提供技术支撑。

3　成效分析

本文以武汉市2021—2022年经标准化处理的用途管制数据为样本，包含实体719个、关系573个、实体集（项目）160个，示例项目图谱见图2，按照7∶3的比例划分训练集和验证集，用以验证时序图谱构建以及联接国土空间用途管制空间单元和各管理环节信息的实际效果。具体验证结果见表3。基于关系型数据和知识图谱查询的平均耗时分别为612.57 ms和48.14 ms。

表3　国土空间用途管制时序图谱构建和应用效果

类别	精确率	召回率	F1
基于双向时序空间交会的实体关系构建	0.872	0.803	0.836
基于语义匹配的实体关联	0.756	0.871	0.809

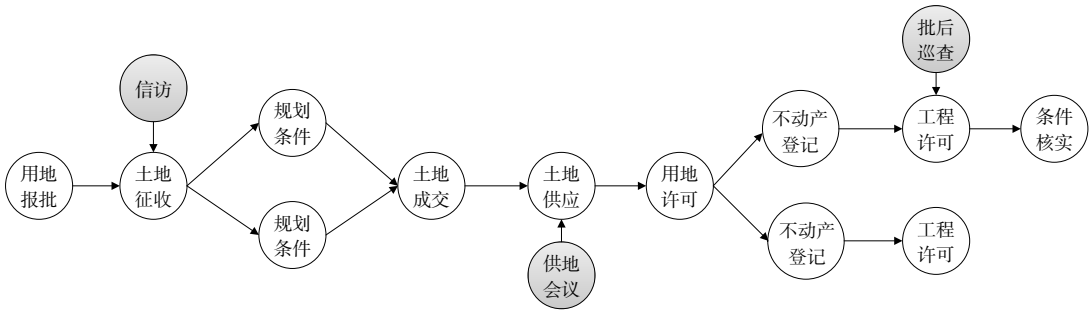


图2　实例项目图谱

通过验证分析可见，相较于传统空间叠加分析方法只能获取简单的实体集合，该方法在实体关系构建上具有较高的准确率，可重建用途管制环节对应空间单元上分期、合并、续办等更加细化的有序、有向关系。错误实体关系主要为同一空间上其他项目空间单元被计入，未来可考虑通过图神经网络学习来提高项目区分度和实体识别率。由于自然资源领域样本数据有限，语义匹配的实体关联效果未达到该模型在通用领域的精度效果，下一步可通过加强机器训练和模型迁移进行改善。

4　结　语

用途管制时序图谱的建设与应用，有力支撑了武汉市国土空间用途管制全周期管理创新；基于此开展的审批服务“大集中”平台建设，实现了项目全过程“一条龙”审批与服务，即图形成果“一条龙”监测管理、指标数据“一条龙”引用和自动计算预警、成果资料“一条龙”关联共用，推动了“五全”审批服务模式创新，即全业务口径网上办理，各类事项全市域“同标准、无差别”实施，项目全链条统一调度监管，项目“图、文、数”全电子化、精细化管理，项目相关政务资源全内容信息服务。通过图谱的知识增强型信息服务，建设流程智能、资源智能、指标智能工具，探索“机器带（代）人、人人会审”，建立机器引导、人机协同的智能审批模式，实现基于政府投资房建项目、社会投资一般项目、政府投资市政项目、工业项目和“承诺可开工”项目等不同类型项目办理流程的智能导航和办理规则研判。用途管制时序图谱对于推动国土空间用途管制管理数字化、知识化、智慧化提升转型具有重要意义。图谱结合机器学习方法如何应用于用途管制实施监测、知识推演等方面，仍需深入探索和研究。

参考文献

[1] 岳文泽，王田雨. 中国国土空间用途管制的基础性问题思考[J]. 中国土地科学，2019，33(8):8-15

[2] 李乃强. 国土空间规划平台建设技术研究[J]. 地理空间信息，2020，18(6):125-126

[3] 吴次芳，谭永忠，郑红玉. 国土空间用途管制[M]. 北京:地质出版社，2020

[4] 谭丽萍，徐小黎，李勇，等. 基于地方国土空间用途管制实践的思考[J]. 国土资源情报，2020(2):8-12

[5] 官赛萍，靳小龙，贾岩涛，等. 面向知识图谱的知识推理研究进展[J]. 软件学报，2018，29(10):2 966-2 994

[6] 宗琴，刘艳霞，陈明建，等. 矢量数据多尺度表达图谱认知理论与计算[J]. 地理空间信息，2022，20(8):4-7

[7] Li Z H, Yang N, Wang L, et al. Learning Diverse Document Representations with Deep Query Interactions for Dense Retrieval[J]. arXiv: CoRR, 2022(8):4 232

[8] 刘知远，孙茂松，林衍凯，等. 知识表示学习研究进展[J]. 计算机研究与发展，2016，53(2):247-261

[9] 王天一，孟小亮，张华. 一种面向生态环境领域的知识图谱构建方法[J]. 地理空间信息，2023，21(1):14-19