

2024 年度自然资源科学技术奖（科技进步奖）

拟推荐项目公示内容

一、成果名称

城市时空信息精细感知与智能挖掘关键技术及应用

二、主要完成单位

中南大学、湖南省第三测绘院、中国地质大学（武汉）、湖南科技大学、广州市城市规划勘测设计研究院有限公司、长沙市规划信息服务中心、武汉中地数码科技有限公司

三、主要完成人

邓敏、唐建波、刘启亮、汤仲安、张明、何占军、石岩、杨学习、刘宝举、刘慧敏、杨文涛、黄金彩、谌恺祺、欧景雯、叶亚琴

四、推荐意见

城市时空信息精细感知与智能挖掘是支撑智慧城市建设的关键技术。该项目面向城市数智化治理的重大需求，历经十多年攻关，提出了城市时空信息“感知-融合-挖掘-预测”全链条智能处理理论与技术方法，突破了高精度时空信息感知与动态更新、多模态时空信息关联融合、高置信时空知识统计挖掘、智能化时空态势预测等关键技术。具体地，提出了融合多源时空大数据的城市要素几何-拓扑-语义全信息层次化精细建模方法，实现了城市大范围场景的精细化、富语义和高现势性的时空信息提取与动态更新；提出了高置信时空知识统计挖掘理论方法，突破了异质环境下时空模式自适应挖掘与统计推断技术瓶颈；提出了领域知识引导的时空统计学习理论方法，研发了“数据-知识”双轮驱动的时空过程智能预测和优化技术，解决了时空可预测性度量分析难题，提升了时空过程预测和协同优化结果的精度与可解释性。

项目获得国家发明专利 42 项，出版学术专著 5 部，发表 SCI/EI 论文 113 篇，获得软件著作权 18 项。王家耀院士等专家认为该项目成果整体达到国际先进水

平，成果已在全国十余个城市进行了成功推广应用，促进了城市区域高质量发展和空间治理现代化，取得了显著的经济社会与生态效益。

经审核，项目成果材料真实、可靠。因此，湖南省自然资源厅同意推荐“城市时空信息精细感知与智能挖掘关键技术及应用”项目申报 2024 年度自然资源科学技术奖（科技进步奖），推荐等级为特等奖或一等奖。

五、成果简介

城市时空大数据作为刻画城市物理空间及运行状态规律的重要信息载体，是构建智慧城市“感知-认知-决策”全链条服务的数据基石。然而，多源异构的泛在感知城市时空大数据存在低精度、强有偏、高噪声等质量问题，导致挖掘的时空知识不可靠、难解释，这与智慧城市建设对高质量的时空信息和时空知识的需求产生了突出矛盾，进而影响城市精细化管理和“城市病”智能化治理。因此，如何实现从低精度、有偏性、高噪声的泛在感知时空大数据到高精度、高完备、高置信的时空信息和时空知识转化的技术创新，是释放城市全域感知时空大数据价值，推进城市数字化转型、智慧化发展的关键之举。

针对学术界和工业界面临的泛在感知时空数据中高质量时空信息提取难、多模态异构时空信息融合难、高置信时空知识挖掘难、高精度时空态势预测能力弱等 4 个方面的关键难题，项目团队经过十多年的攻关，取得了如下创新性成果：

1、针对大范围城市要素精细空间结构信息和时空动态语义信息难获取的问题，提出了融合多源时空大数据的城市要素几何-拓扑-语义全信息层次化精细建模方法，研发了城市时空信息动态获取的“空-天-地-网”协同感知技术，实现了城市大范围场景的精细化、富语义和高现势性的时空信息提取与动态更新，解决了专业测绘技术手段在城市大范围时空信息采集与实时更新中面临的成本高、更新难等瓶颈问题。

2、针对单一数据难以全方面感知和认知城市要素特征的局限性以及不同来源的时空信息语义异构、关联弱等问题，构建了自适应时空基准融合框架，提出了顾及时空分异性的多模态特征嵌入学习和多视角子空间学习的时空信息融合等模型与方法，实现了文本、图像、轨迹等多模态、多视角时空数据的特征对齐融合，从而提高了时空信息的完备性。

3、针对时空大数据模式挖掘中的时空依赖性、时空异质性建模和结果可靠

性评价的难点问题，创新性发展了高置信时空知识统计挖掘理论方法，突破了异质环境下时空模式自适应挖掘与统计推断技术瓶颈，解决了多尺度时空模式与时空知识挖掘结果完备性低、可靠性难评价的难题。

4、针对城市要素复杂时空过程的可预测性、预测模型的可靠性缺乏度量等问题，创建了领域知识引导的时空统计学习理论方法，研发了数据-知识协同驱动的时空过程智能预测和优化技术，解决了时空可预测性度量分析难题，提升了时空过程预测和协同优化结果的精度与可解释性。

获得国家发明专利 42 项，发表 SCI/EI 论文 113 篇，出版时空数据挖掘理论学术专著 5 部，获得软件著作权 18 项。成果已在北京、广东、江苏、湖南、湖北、河北、山西等省市的城市智慧交通、国土空间规划、公共安全治理、环境污染监测等方面广泛应用，取得了突出的社会经济与生态效益，为城市智能化治理提供了“信息感知-关联融合-知识挖掘-预测优化”的全链条时空数据分析技术与解决方案。

六、客观评价

1. 成果验收评价

2025 年，中国测绘学会组织专家，对本项目成果进行了科技成果评价，认定本项目面向新型智慧城市建设对高精度、高完备、高可靠时空信息的重大需求，开展了城市时空信息精细感知与智能挖掘关键技术研究，形成了城市时空信息“感知-融合-挖掘-预测”全链条智能处理技术方法体系与系统平台，为城市数智化治理提供了重要支撑。项目提出了融合多源时空大数据的城市要素几何-拓扑-语义全信息层次化精细建模方法，研发了城市时空信息动态获取的“空-天-地-网”协同感知技术，实现了城市大范围场景的精细化、富语义和高现势性的时空信息提取与动态更新，创新性发展了高置信时空知识统计挖掘理论方法，突破了异质环境下时空模式自适应挖掘与统计推断技术瓶颈，解决了多尺度时空模式与时空知识挖掘结果完备性低、可靠性难评价的难题，创建了领域知识引导的时空统计学习理论方法，研发了数据-知识协同驱动的时空过程智能预测和优化技术，解决了时空可预测性度量分析难题，提升了时空过程预测和协同优化结果的精度与可解释性。成果在北京、广东、江苏、湖南、湖北、河北、山西等省市的城市智慧交通出行、国土空间规划、公共安全治理、环境污染监测等方面广泛应用，经

济社会与生态效益显著。专家组一致认为，该成果总体处于国际先进水平，其中在多尺度空间聚类的城市要素层次化精细建模、领域知识引导的时空统计学习方面达到国际领先。

2. 论文学术评价

论文“Generating urban road intersection models from low-frequency GPS trajectory data”在国际地理信息科学领域权威期刊《International Journal of Geographical Information Science》（IJGIS）发表，被同行引用 52 次，通过构建新的轨迹相似性度量指标和轨迹聚类方法，创新性地从低频轨迹数据中提取道路交叉口的精细几何结构信息和拓扑连通关系。该论文得到 IJGIS 编委、美国马里兰大学 Kathleen Stewart 教授的好评，认为该研究工作是“当前基于移动轨迹时空大数据进行城市路网感知更新的代表性方法”。

多尺度空间聚类论文“An adaptive spatial clustering algorithm based on Delaunay triangulation”在国际城市信息科学权威刊物《Computers, Environment and Urban Systems》（CEUS）发表，被同行引用 103 次。美国科学院院士 Steve Granick 教授、IJGIS 前副主编 Robert Weibel 教授、国际制图权威专家 Dirk Burghardt 教授、美国地理学会 Fellow 叶信岳教授在不同应用案例中验证了多尺度空间聚类成果的优越性，上述学者实际应用结果表明：多尺度空间聚类方法的聚类质量较 MST、CHAMELEON、DBSCAN 等经典方法至少提高 18%；城市功能区识别精度较传统方法至少提升 5%。

论文“Mining spatiotemporal association patterns from complex geographic phenomena”在国际地理信息科学领域权威期刊《International Journal of Geographical Information Science》（IJGIS）发表，被同行引用 68 次，在 2020~2023 年间为高被引论文。该论文构建了几何形态动态变化的复杂地理事件的层次化表达模型，并创新性发展了复杂地理事件的时空演化路径挖掘模型。该论文入选 IJGIS 时空大数据创新研究前沿专辑《Big Spatiotemporal Data Analytics: a research and innovation frontier》，认为该研究工作提供了一种全新的分析思路，有效推动了时空数据挖掘的理论研究。

论文“Prediction of hourly PM2.5 using a space-time support vector regression model”在环境科学权威期刊《Atmospheric Environment》发表，被同行引用 101

次，该论文通过高斯矢量函数来刻画空气污染浓度的局部依赖特征，并借助于空间聚集模式技术识别出空气污染均质区域，构建能够表达时空依赖的局部支持向量回归模型，实现了区域性空气污染高精度预测。葡萄牙里斯本新大学电子与电气工程 Rybarczyk 教授在大气质量机器学习预测建模综述中指出“时空支持向量模型是顾及空间异质性与依赖性的代表性预测方法”。

3. 用户评价

北京滴滴无限科技发展有限公司（滴滴出行）引入项目提出的城市要素时空信息“分解-耦合”的层次化建模与提取方法，应用于城市级大范围的高精度导航路网地图构建与变化信息快速发现，解决了企业生产应用中的多源数据智能融合处理、复杂路网信息精准提取与变化更新技术难点，提高了公司在高科技领域的竞争力，成果应用带来了良好经济效益。

国家地理空间信息中心引入项目提出的多模态时空信息关联融合技术，应用于自然资源与地理空间大数据的关联融合、自然资源时空信息抽取，在国家自然资源和地理空间基础信息库数据主中心交换系统应用中发挥了重要作用。

NEC 中国研究院引入项目提出的时空知识统计挖掘模型与时空智能预测方法，应用于多个城市的空气质量监测与预报，认为项目提出的技术在集成多源时空数据发现空气污染物的时空分布模式、时空关联模式、高精度智能预测等方面具有原始创新性。研究成果在唐山、运城等地进行试点应用，对空气质量进行了精准预报，为增设监测站点提供重要依据。

七、代表性论文专著目录

序号	论文专著名称	刊名	作者	年卷页码 (xx 年 xx 卷 xx 页)	发表 时间 (年 月 日)	通讯作者 /第一作 者是否为 本成果主 要完成人	SCI 他引 次数	他引总次 数 (WOS)
1	An adaptive spatial clustering algorithm based on Delaunay triangulation	Computers, Environment and Urban Systems	Deng Min, Liu Qiliang, Cheng Tao, Shi Yan	2011 年 35 卷 320-332 页	2011-03-12	是	63	103
2	Generating Urban Road Intersection Models from Low-Frequency GPS Trajectory Data	International Journal of Geographical Information Science	Deng Min, Huang Jincai, Zhang Yunfei, Liu Huimin, Tang Luliang, Tang Jianbo, Yang Xuexi	2018 年 32 卷 2337- 2361 页	2018-8-27	是	36	52
3	An adaptive detection of multilevel co-location patterns based on natural neighborhoods	International Journal of Geographical Information Science	Liu Qiliang, Liu Wenkai, Deng Min, Cai Jiannan, Liu Yaolin	2021 年 35 卷 556-581 页	2020-6-16	是	16	29

4	Detecting spatiotemporal extents of traffic congestion: a density-based moving object clustering approach	International Journal of Geographical Information Science	Shi Yan, Wang Da, Tang Jianbo, Deng Min, Liu Huimin, Liu Baoju	2021 年 35 卷 1449-1473	2021-4-1	是	16	19
5	Recognizing urban functional zones by a hierarchical fusion method considering landscape features and human activities	Transactions in GIS	Liu Huimin, Xu Yiyuan, Tang Jianbo, Deng Min, Huang Jincai, Yang Wentao, Wu Fang	2020 年 24 卷 1359-1381	2020-6-17	是	35	38
6	Mining spatiotemporal association patterns from complex geographic phenomena	International Journal of Geographical Information Science	He Zhanjun, Deng Min, Cai Jiannan, Xie Zhong, Guan Qingfeng, Yang Chao	2020 年 34 卷 1162-1187	2019-2-1	是	52	68
7	Prediction of hourly PM2.5 using a space-time support vector regression model	Atmospheric Environment	Yang Wentao, Deng Min, Xu Feng, Wang Hang	2018 年 81 卷 12-19	2018-3-7	是	88	101
8	地理空间关联模式挖掘的理论与方法	科学出版社	邓敏, 蔡建南, 何占军, 陈袁芳	2023 年	2023-04-01	是		0

八、主要知识产权目录

知识产权 (标准) 类别	知识产权(标准) 具体名称	国家 (地区)	授权号(标准 编号)	授权(标准发 布)日期	证书编号 (标准批准 发布部门)	权利人 (标准起 草单位)	发明人(标准起草人)	发明专利 (标准) 有效状态
发明专利	一种基于轨迹自适应聚类的路网快速更新的方法及系统	中国	2018109655685	2020-01-10	3662360	中南大学	邓敏、陈雪莹、唐建波、刘慧敏、黄金彩	有效
发明专利	城市三维空间用地功能属性识别与时空变化监测分析方法	中国	2023108825069	2023-10-31	6446872	中南大学	唐建波、丁晨、邓敏、王军杰、刘慧敏、杨学习、王汶珮、赵宇昕	有效
发明专利	一种城市交通流不平衡模式挖掘方法及系统	中国	2018105104791	2020-06-05	3824750	中南大学	刘启亮、吴智慧、刘文凯、郑晓琳、邓敏	有效
发明专利	基于人类移动的城市区域交互异常关系识别方法及设备	中国	2020101031089	2022-08-16	5389967	中南大学	邓敏、刘宝举、裴新宇、杨靖夷、王晶	有效
发明专利	城市道路交通流量属性预测方法、系统、设备及介质	中国	2022109152269	2022-11-25	5608207	中南大学	谌恺祺、邓敏、石岩、雷凯媛	有效

发明专利	融合多源地理数据的国土空间规划开发方式分类方法	中国	2024105220355	2024-04-28	7242632	湖南省第三测绘院、中南大学	汤仲安、赵强、段佳、胡雯运、王达、阳致远	有效
发明专利	城市空间的竞争合作强度计算方法及系统	中国	2024105520538	2024-05-07	7273892	中南大学、湖南省第三测绘院	何骁、汤仲安、刘宝举、邓敏	有效
发明专利	一种基于虚拟引擎的矢量数据处理方法、装置及介质	中国	2021109957672	2022-06-14	5234361	广州市城市规划勘测设计研究院	张明、何华贵、刘洋、郭亮、杨卫军、王会、梁智浩、周中正	有效
计算机软件著作权	智慧城市三维仿真应用平台	中国	2020SR0398230	2019-12-24	5276926	长沙市规划信息服务中心		有效
计算机软件著作权	数字孪生地灾智治系统	中国	2023SR0790144	2023-03-30	11377315	武汉中地数码科技有限公司		有效