

数字化规划技术——数据与知识*

钮心毅 林诗佳 桑田 张小可

提要 以数据驱动、知识驱动的技术范式为线索,系统梳理数字化规划技术范畴和类型,认识前沿趋势和难点。在区分数字技术和数字化规划技术的概念基础上,从城市建模技术、时空大数据规划技术、人工智能规划技术等三类数字化规划技术的演进,归纳出知识驱动、数据驱动两个技术范式,以此认知当前数字化规划技术的用途和难点。从数据与知识出发,讨论数字化规划技术前沿趋势。数字化规划技术是规划过程各阶段中使用数字技术的方法,归为分析、模拟、决策等三种用途。数字驱动、知识驱动技术范式决定了数字化规划技术的用途。数据驱动技术范式能较好地支持规划分析、模拟用途,但知识驱动技术范式的瓶颈使得数字化规划技术还难以较好地支持决策用途。数字化规划技术未来趋势是数据与知识共同驱动,其关键是解决“从数据到知识”的难点,从数据中学习、提取规划学科“白箱知识”,运用“白箱知识”驱动规划的分析、模拟、决策。

关键词 数字化规划技术;数字技术;数据驱动;知识驱动;技术范式

中图分类号 TU984 文献标志码 A
DOI 10.16361/j.upf.202402003
文章编号 1000-3363(2024)02-0018-07

作者简介

钮心毅,同济大学建筑与城市规划学院,自然资源部国土空间智能规划技术重点实验室,教授、博士生导师,niuxinyi@tongji.edu.cn

林诗佳,同济大学建筑与城市规划学院博士研究生

桑田,同济大学建筑与城市规划学院硕士研究生

张小可,同济大学建筑与城市规划学院硕士研究生

Digital Planning Technology: Data and Knowledge

NIU Xinyi, LIN Shijia, SANG Tian, ZHANG Xiaoke

Abstract: This paper provides a systematic overview of digital planning technology, in particular, its scope, types, frontier trends, and main obstacles viewed through a data and knowledge-driven technological paradigm. Firstly, it distinguishes between the two concepts of digital technology and digital planning technology. Secondly, it summarizes two technological paradigms, driven by knowledge and data respectively, based on an overview of the evolutionary paths of three types of digital planning technologies: urban modeling technology, spatial-temporal big data planning technology, and artificial intelligence planning technology. Lastly, the paper discusses frontier trends in digital planning technologies from the perspectives of data and knowledge. It is concluded that digital planning technologies can be understood as digital applications in planning analysis, simulation, and decision-making throughout the planning processes. The specific application is determined by either the data- or knowledge-driven paradigms. While the former better supports planning analysis and simulation, deficiencies in the latter hinder decision-making. Future digital planning technologies are expected to be driven by both data and knowledge. The challenge lies in the transition from data to knowledge through data-based learning, extracting the "white-box knowledge" in planning, and allowing knowledge to drive analysis, simulation, and decision-making in planning.

Keywords: digital planning technology; digital technology; data-driven; knowledge-driven; technological paradigm

当前的数字化时代,数字技术正在深刻地改变人们的生活和工作方式,云计算、大数据、人工智能等数字技术的发展推进了生活、经济、治理在内整个社会的数字化转型。城乡规划学科同样感受到了数字化、数字技术的强烈影响。近10年是数字技术对城乡规划学科产生巨大影响的10年。例如,数字孪生技术、虚拟现实技术改变了认知和探索城市空间的方式^[1-2],时空大数据、人工智能等迅速融入了城乡规划研究与规划实践^[3-5]。迅速兴起的人工智能内容生成(AIGC)技术正在改变规划图纸、报告的生成方式。从规划研究的支撑技术到规划实践中成果生成,数字技术已经对城乡规划产

* 国家重点研发计划课题“国土空间多场景综合效能评价与调控关键技术”(项目编号2022YFC3800804);根据作者在第20届“中国城市规划学科发展论坛”上的演讲整理改写

生了全方位的巨大影响。

过去10年也是城乡规划学科最关注数字化规划技术的10年。规划学科中时空大数据、人工智能技术先后成为学科中热点议题，引发了两次热潮。2010年代初以来，时空大数据技术吸引了大量关注，对城市空间研究产生了积极而深远的影响。时空大数据技术迅速在城市空间结构、区域空间结构、行为与建成环境、城市治理等多个研究领域得到广泛应用，开启了规划研究的“大数据时代”^[6]。2010年代后期至今，人工智能技术又吸引了规划学科大量关注^[7]。尤其是机器学习技术吸引了国内外规划学界关注，相关研究性论文在2018年后迅速增长^[8]。规划学科中人工智能的热潮方兴未艾^[9]。数字化规划技术已经在规划研究中普遍使用，研究议题遍及各个方向。

当前数字化时代，数字化规划技术成为了规划技术的主流，虽然当前规划研究和实践中的数字化规划技术种类众多，但如何认识数字化规划技术的本身，如何认识其迅速发展带来的作用和改变，这些方面仍存在诸多悬而未决的疑问。本文旨在回答上述议题，首先界定数字化规划技术概念范畴，随后从数据与知识维度出发回顾数字化规划技术演进历程，系统性梳理其技术范式，进而讨论数字化规划技术的研究前沿和难点，展望城乡规划学科中的数字化规划技术的未来趋势。

1 数字化规划技术的范畴和用途

1.1 区分数字技术和数字化规划技术

要准确界定数字化规划技术的概念范畴，需要从理解“技术”这个词含义入手。不同词典给出的“技术”定义基本一致，均是按照科学、技术两个概念之间关系来阐述的，表述为“技术是在实践中运用科学的特定方法”^①。从技术与科学关系出发，就可以明确将当前规划研究和实践使用的技术区分为两类。

第一类可以直接称为“数字技术”。虽然虚拟现实、云计算、物联网等技术出现在规划行业应用中，驱动这些技术的科学是计算机科学，是计算机学科知识。具体表现为在规划中应用这些技术，所依赖的科学、运用的方法实质上与在

其他领域、学科中的应用并无明显差别。典型如规划成果展示的虚拟现实技术、规划信息管理的数据库技术。

第二类可以称为“数字化规划技术”。数字化规划技术是在规划研究、规划实践中的各阶段使用数字技术的方法，是运用数字技术实现规划现状分析、建模预测、方案制定、方案选择、规划实施、规划监测评估的方法。虽然这类技术建立在数字技术的基础上，但是驱动这类技术的是规划学科知识，不再是计算机学科知识。具体表现为在规划现状分析、建模预测、方案制定、方案选择、规划实施、规划监测评估各阶段中应用这些技术，所依赖的科学、运用的方法与在其他领域、学科中的应用有显著的差异。

在数字技术出现之前，已经有了多种规划技术，可以举一个例子来说明“数字技术”与“数字化规划技术”的关联和差异。1960年代初期，McHarg提出了叠合技术用于土地适宜性分析。他使用手工渲染透明薄膜，手工进行灯光片的叠合，实现了“千层饼”叠合方法。McHarg创建的“千层饼”叠合方法是一种规划技术，驱动这一技术的是McHarg提出的“设计结合自然”规划思想是规划学科知识^[10]。McHarg的规划技术激发了1960年代的早期GIS研究者，催生了GIS的空间叠合功能，后来成为GIS的基础空间分析功能之一。GIS空间叠合是一种“数字技术”，驱动GIS空间叠合的科学是地理信息科学。至1980年代后，发展出了完全运用GIS叠合的土地适宜性分析技术^[11-12]，这成为一种“数字化规划技术”。驱动GIS叠合土地适宜性分析技术的仍是McHarg当年提出的规划学科知识。这是先有“规划技术”，再激发出新的“数字技术”，两者融合成为新的“数字化规划技术”的例子。这个例子就能清楚地表明，有必要、也能够将数字技术与数字化规划技术的概念区分开来。

1.2 数字化规划技术的用途类型

区分出了数字技术、数字化规划技术，就可以讨论数字化规划技术的用途类型。数字化规划技术可以归为对规划效应的分析、对规划现象的模拟、对规划对象的决策等三类用途。分析用途是

指对效应、因素、机制的分析。近些年常用的“诊断”一词就是典型分析用途。例如，运用时空大数据分析公众对社区认知，能有效诊断社区治理成效^[13]。模拟用途包括了模拟和仿真，常用的“推演”一词就是典型模拟用途。例如，模拟紧凑城市政策实施会对公共服务和城市财政带来的影响^[14]。决策用途是指规划方案的制定和选择，是规划的核心用途。例如，运用深度神经网络，生成最佳街道网络方案^[15]。数字化规划技术的三类用途均是依托各种数字技术为基本手段才能实现，但是驱动这些数字化规划技术的则是现状分析、建模预测、方案制定、方案选择、规划实施、规划监测评估中的规划学科知识。

界定了数字化规划技术的概念和用途之后，以1990年代以来城市建模技术、时空大数据规划技术、人工智能规划技术等三项典型数字化规划技术为例，从各自演进历程入手，梳理出数字化规划技术的技术范式及其与用途之间的关系。

2 城市建模技术：知识驱动与数据驱动

2.1 21世纪以来的城市建模技术

城市建模技术(urban modeling)是历史悠久的规划技术。产生于1950年代的城市建模技术起初并不是数字化规划技术，模型需要手工计算完成。城市建模技术在1960年代广为流传，理性规划思潮推动了城市模型发展，大尺度城市模型(large scale urban model)广为流行，决策是城市建模技术的主要用途，规划史称之为理性规划(rational planning)时代。理性规划思潮终结于1970年代，大尺度城市模型遭到广泛质疑和批评^[16]，然而城市建模技术并未消失，一直在学术界存在着^[17]。从1990年代开始，GIS等数字技术与之融合^[18]，城市建模技术成为了典型的数字化规划技术。

21世纪以来，有三类城市建模技术并行发展。第一类是传统的大尺度城市模型，在21世纪仍在延续发展；第二类是1990年代中期出现的基于规则的模型(rule-based model)，主要是GIS技术催生的；第三类是元胞自动机(CA)等微

观模拟模型。这三类城市模型发展至今，其技术范式和用途均在不断演进。

2.2 城市建模技术的知识驱动与数据驱动

第一类大尺度城市模型仍被用于都市区的土地和交通规划，其典型是UrbanSim^[19-20]。1990年代后的大尺度城市模型从传统的决策用途转向了模拟用途，用于模拟未来规划政策带来的各方面影响。在技术范式上，大尺度城市模型属于知识驱动的规划技术，模型原理以规划知识构建，将空间与交通的相互作用，家庭、企业、政府决策原理作为建模基础。大尺度城市模型还常被称为“黑箱知识”或“灰箱知识”驱动。因为表达土地、交通、环境等相互作用需要复杂数理公式，不仅参数众多，而且难以理解，不能清晰直接对应空间规划目标和策略。

第二类基于规则的模型其典型是CUF^[21]和what if^[22-23]。基于规则的模型产生之初就是为了模拟政策，用于评估规划政策的可能影响，判断规划策略的合理性和可行性，不是为了决策。在技术范式上，基于规则的模型仍属于知识驱动的规划技术，但是其模型原理表达为明确、简单的规则。比如，CUF模型先预测总量需求；再依据土地适宜性高低进行土地用途分配^[24]。模型不再建立在空间相互作用、离散选择等数理公式上。相比之下，基于规则的模型被称为“白箱知识”驱动，基于明确的知识制定了简单的模型规则。能出现这样明确规则的模型与数字技术GIS的融入是密不可分的。

第三类微观模拟模型包括CA元胞自动机模型^[25]和ABM多自主体模型^[26]。微观模拟模型产生之初就是用于推演、模拟未来的土地使用格局，至今一直也属于模拟用途。这类模型引入了来源于计算机科学的CA和ABM，由此出现了全

新的数据驱动技术范式。微观模拟模型依赖于长时间序列历史数据来校准模型转换规则，需要用长时间序列的历史数据来训练模型，才能推演未来的土地利用变化。例如，用200年历史数据来校准模型，模拟未来50年的土地使用演变等^[27]。源于计算机科学的CA带来了数据驱动建模方法，元胞自动机模型核心是转换规则，其中完全不包含规划理论和原理，规则是由数据“练”出来的。这种“练”出来的知识即便存在也是“黑箱知识”。

从数据驱动、知识驱动的技术范式出发，知识一直是城市建模技术的关键词。传统大尺度城市模型建模基础是“灰箱知识”^②、基于规则的模型建模基础是“白箱知识”，微观模拟模型带来了“数据驱动”的建模范式，也带来了“黑箱知识”（表1）。当前城市建模技术更多作为城市空间演化模拟的实验室，模拟是主流用途，而不是当年理性规划时代的决策用途。无论是知识驱动还是数据驱动，当前城市建模技术主要是用于模拟，不能有效地满足决策用途的需求。

3 数据驱动的时空大数据规划技术

3.1 时空大数据技术演进

时空大数据进入规划学科至今超过10年。时空大数据本身就能作为规划中的数字技术，最早的Mobile Landscapes项目以手机通话量感知城市活动强度时空变化，其中的时空大数据还属于数字技术范畴^[28]。近10年来，城乡规划中的时空大数据从数字技术逐步演变为研究城市空间与城市活动之间关系的数字化规划技术，成为在城市空间结构、区域空间结构、行为与建成环境、城市治理等规划议题研究中有效的支撑规划技术。时空大数据规划技术从“感知空间中活动时空现象、认知空间中活动时空规律、

发现作用于活动的空间因素、探知空间与活动的作用机理”等4个方面支持“城市活动”与“城市空间”的研究^[6]，也需要从数据驱动、知识驱动的技术范式认识这4个方面的时空大数据规划技术。

3.2 数据驱动的活动与空间研究

“感知空间中活动时空现象”是将时空大数据用于对城市空间中活动时空现象的量化描述，并不涉及现象背后影响因素与作用机制。在这一技术类型中，时空大数据作为城市活动时空特征的感知技术。如Mobile Landscapes项目通过手机通话数据测度城市活动强度时空变化^[28]。“认知空间中活动时空规律”是将时空大数据用于城市活动时空现象并归纳出时空活动模式和规律的技术类型。例如，运用时空大数据得出差异化人群的出行规律^[29]。这一类型或从时间入手、或从空间入手挖掘活动模式和规律，但都不是以空间与活动互动机理入手。这两类时空大数据的研究类型均属于数据驱动。

“发现作用于活动的空间因素”是将时空大数据用于识别影响城市活动背后的空间因素的技术类型。例如使用多源时空大数据，从城市活动时空特征推断城市功能^[30]。这是从数据中解读出城市功能信息的技术。“探知空间与活动的作用机理”是将时空大数据用作探知城市空间与城市活动相互作用特征，认知其作用机制的技术类型。例如，使用时空大数据测度不同功能城市商业中心的中心服务范围，验证商业中心体系规划的中心地理论^[31]。这是从数据中解读城市活动与城市空间的信息来验证既有学科知识。这两类时空大数据的技术类型也均属于数据驱动。

因此，时空大数据规划技术始终是数据驱动技术范式，从数据中挖掘信息，进而从信息中发现新的现象、验证既有知识。时空大数据规划技术从产生开始就一直承担分析用途，能有效解决空间与活动的分析，尚无法用于模拟和决策用途（表2）。时空大数据正从对城市空间“诊断”走向对城市空间“预测”，进而支持规划决策，这是时空大数据规划技术前沿之一。

表1 城市建模技术的技术范式及用途

Tab.1 Technological paradigm and usage of urban modeling technology

	大尺度城市模型	基于规则模型	微观模拟模型
技术范式	知识驱动	知识驱动	数据驱动
用途	从决策转向模拟	模拟	模拟

4 人工智能规划技术：知识驱动与数据驱动

4.1 知识驱动的专家系统技术

人工智能是历史悠久的数字技术。人工智能的第一次浪潮是专家系统(ES),也称为基于知识的系统(KBS)。1980年前后,各个领域均在探索专家系统应用,城市规划领域也不例外。最早的人工智能规划技术就出现在1980年代,有论文^[32]、专著^[33]问世,也有若干系统出现,比如用于区划(zoning)的专家系统^[34]、用于选址的专家系统^[35]等。早在1980年代后期,中国规划学界已在探索城市规划专家系统,陈秉钊等^[36]发表于1989年的规划建设管理专家系统的论文是中国城市规划学科AI的第一篇论文。这与国际上的探索几乎是同步的。

专家系统就是对规划目标进行辅助决策的技术。其特点是将专家知识提取出来,建立知识库,将知识写为明确的规则表述,机器依据规则进行决策。专家系统属于典型的知识驱动技术范式,其关键是将规划学科知识表达为清晰的、可供机器使用的“if-then”规则,组成知识库中的“白箱知识”。系统依据“if-then”规则做出决策。

专家系统规划技术遇到了很多困难^[37]。至1990年代,学界一致认为有两个难点是难以克服的^[33,38]。第一个难点是知识提取,如何将规划知识用普通语言总结出来。规划知识难以表述、难以提取是开发城市规划专家系统的最大障碍,这是由规划知识本身特性决定的。第二个难点是知识表达,即用规范化“规则”表示规划知识。恰恰城市规划中知识不是都能表达为“if-then”的,相当多的判断是模糊的、不明确的。规划学科知识难以提取、难以表达为清晰的规则,这是1990年代后规划学科中的人工智能探索走向缓慢、停滞的原因。

4.2 数据驱动的机器学习技术

2010年代以来机器学习发展,掀起了人工智能的又一次热潮。2010年代后期,机器学习也进入了城市规划,至今已成为当前人工智能规划技术的主流^[8]。机器学习不再需要知识提取,而是从大量的经验“数据”中学习,让机器自己

积累出知识,再用学习到的知识进行判断,解决问题。机器学习的方法恰好规避了规划知识是模糊的、不明确的,知识难以提取、难以表达的特点。另一方面,机器学习最关键的就是数据,是靠数据“训练”出来的。大数据恰好解决了机器学习的数据来源,这也就是机器学习人工智能兴盛于大数据时代之后的原因。机器学习规划技术属于数据驱动的技术范式。

使用机器学习从街景影像入手,评价街道建成环境品质已经是比较常见的用途^[39]。建成环境品质评价就是完全由数据驱动的规划技术,通过图像大数据训练,实现智能评判。机器学习等方法用于规划方案生成已经在探索中^[40-41]。例如,通过对城市道路网络肌理进行学习,已经能够自动生成与历史街区肌理融为一体的规划道路网,属于设计中的决策^[15]。值得注意的是后一类型仍是决策用途,但前一类则是分析用途。

2023年人工智能内容生成AIGC异军突起。AIGC涉及了深度学习、自然语言处理等多种机器学习技术,可视作机器学习实际应用的一种形式。在通用大模型基础上,继续训练规划专业大模型,进而用于规划专业报告、图纸生成等。让专业大模型能够理解特定规划任务需求,就能完成规划文本、图像等多样化内容生成输出。这是值得期待的人工智能规划技术。

4.3 以“数据与知识”维度认识人工智能规划技术

以“数据与知识”维度来审视人工智能规划技术。知识一直是人工智能规

划技术的关键词。早年专家系统是“知识驱动”的、基于“白箱知识”的,但是规划知识获取是其最大困难。当前机器学习规划技术,让机器自己从数据中训练得到知识模型,当然获得的是“黑箱知识”。因为即便是写算法的人,也不知道机器为什么做出这样结果,因为这是数据“练”出来的。即便是数据驱动的人工智能规划技术也是围绕知识而运作的,无非是“黑箱知识”。

从人工智能规划技术演进中总结,人工智能规划技术开端于知识驱动的技术范式,而机器学习发展带来了数据驱动的技术范式。无论是知识驱动还是数据驱动,当前人工智能规划技术多用于分析用途,还难以满足决策用途的需求(表3)。规划学科本身特征决定了人工智能规划技术难以靠知识驱动,也不能仅靠数据驱动,因为机器学习得出是“黑箱知识”,规划决策不能建立在“黑箱知识”之上。

Peng等^[42]从规划师与AI之间关系的角度提出了4阶段观点,包括阶段1 AI辅助型(AI-assisted)、阶段2 AI增强型(AI-augmented)、阶段3 AI自动型(AI-automated)、阶段4 AI自主型(AI-automatized)。前文提到城市道路网自动生成的案例就是属于阶段3,人工定规划目标、AI给出解决方案。4阶段城市规划AI核心观点是无论哪个阶段都不能将人排除在规划之外,因为规划始终是以人为中心的决策活动。从“数据与知识”维度认识人工智能规划技术,就能更好地理解这个核心观点,因为以人为中心的决策活动需要“白箱知识”为支撑,而不是机器学习得出的“黑箱知识”。

表2 时空大数据规划技术的技术范式及用途

Tab.2 Technological paradigm and usage of spatial-temporal big data planning technology

	感知空间中活动时 空现象	认知空间中活动时 空规律	发现作用于活动的 空间因素	探知空间与活动的 作用机理
技术范式	数据驱动	数据驱动	数据驱动	数据驱动
用途	分析(分析现象)	分析(挖掘知识)	分析(解释现象)	分析(解释现象)

表3 人工智能规划技术的技术范式及用途

Tab.3 Technological paradigm and usage of artificial intelligence planning technology

	专家系统 ES/KBS	机器学习 ML
技术范式	知识驱动	数据驱动
用途	决策	分析、决策

5 “从数据到知识”：数字化规划技术的展望与挑战

5.1 知识驱动与数据驱动

知识驱动的技术范式是依靠规划学科的知识完成分析、模拟、决策，需要已知的规划学科知识作为基础。例如：在大尺度城市模型中，规划学科知识以模型数理公式呈现；在专家系统中，规划学科知识以规则形式呈现。在知识驱动技术范式中，数据仍必不可少，依据学科知识来运用数据，完成分析、模拟、决策用途。

数据驱动的技术范式依靠数据完成分析、模拟、决策，已经不需要已知规划学科知识为基础。数据驱动技术范式或是直接从数据中挖掘规划效应的特征、影响因素和作用机理，如时空大数据规划技术；或是以数据训练模型，以模型进行规划分析、模拟、决策，如机器学习规划技术。

知识驱动源于规划学科知识体系，是规划学科固有的技术范式。数据驱动是数字技术发展出来的，数据驱动的规划技术是数字技术与规划技术融合后才出现的技术范式。数字技术融入带来的数据驱动规划技术大幅度推动了规划技术发展，解决了很多长期以来困扰规划技术的难点。回顾1990年代以来3类典型规划技术演进，能从中发现数据驱动的技术范式已经是当前数字化规划技术的主流。

5.2 知识：白箱、灰箱、黑箱

“技术是在实践中运用科学的方法”，这个定义本就阐述了知识与技术之间的关系。回顾三类典型数字化规划技术演进，用知识的线索就能将三类技术串联起来，众多数字化规划技术均可归为“白箱知识”“灰箱知识”“黑箱知识”。在基于规则的模型和专家系统中，知识是白箱；在大尺度城市模型中，知识是灰箱；在元胞自动机规划技术和机器学习规划技术中，知识是黑箱。见图1。

“白箱知识”肯定值得信赖，我们希望理想的规划技术是由“白箱知识”驱动的。规划学科的“白箱知识”面临的困难是知识提取和知识表达，如何将模糊的、隐含的、不确定的规划知识

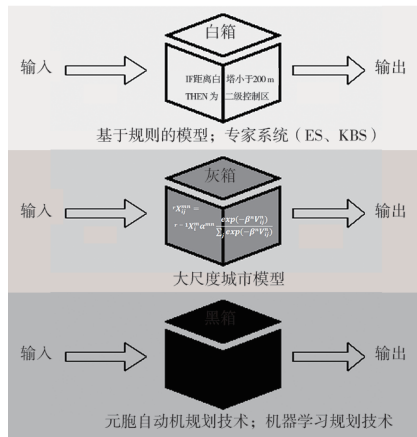


图1 数字化规划技术的白箱知识、灰箱知识、黑箱知识

Fig.1 White-box knowledge, gray-box knowledge, and black-box knowledge of digital planning technology

写成规则化的“白箱知识”。专家系统的历程已经告诉我们，这个困难是由规划学科自身特性决定的。这就是知识驱动的技术范式的瓶颈。

数据驱动的规划技术回避了知识提取和知识表达难题，但是带来了“黑箱知识”。机器学习的人工智能规划技术是典型。虽然机器学习的人工智能规划技术会带来非常亮眼的结果，但对比大尺度城市模型的“灰箱知识”，机器学习的“黑箱知识”一样被诟病。规划决策不能简单地建立在“黑箱知识”之上，尤其重大规划决策更是无法建立在“黑箱知识”上。这就是数据驱动的技术范式能较好地支持规划分析、模拟用途，但难以支持决策用途的原因。

5.3 数字化规划技术需要解决“从数据到知识”的关键

正是规划学科本身是以人为中心的决策活动，决定了数字化规划技术承担的分析、模拟、决策用途的变化，也决定了数据驱动、知识驱动技术范式的演进。当年对理性规划的批判就已经告诉我们，传统规划技术的知识驱动决策存在明显问题。数据驱动的范式丰富、提升了规划技术，但同时带来了“黑箱知识”问题。这使得数据驱动的规划技术能较好地用于分析、模拟用途，还难以承担决策用途，因为“黑箱知识”用于规划决策存在更大问题。

决策用途的规划技术始终是规划学

科的追求。要实现有效支持规划决策用途，数字化规划技术的未来在于“数据和知识共同驱动”的技术范式。现有技术已经能够得出“黑箱知识”。如果能够解决从数据中进一步学习到“白箱知识”，或者从机器学习结果中发现、认识到“白箱知识”，那么运用“白箱知识”进行规划分析、模拟、决策，应该是可靠、值得信赖的技术途径。基于“数据和知识共同驱动”，关键需要解决“从数据到知识”，更明确的表述是“从数据到‘白箱知识’”。要从数据中学习“白箱知识”，用“白箱知识”来驱动规划分析、模拟、决策用途。

数字化规划技术趋势是“数据和知识共同驱动”的技术范式。要解决“从数据到知识”，也就是从数据中学习规律，用规律支持分析、模拟、决策用途。当前，AIGC和大模型已经显示了其应用价值和前景。使用通用大模型克服规划学科知识表达的模糊、不确定的难点，在此基础上构建规划专业大模型，将规划学科中已经明确的知识纳入规划专业大模型中，进一步用于支持决策。这一技术路径也许是解决“从数据到知识”的一种可行路径，值得探索。

6 结论和展望

本文界定了数字化规划技术概念和用途，从数据与知识的维度出发，梳理出数字化规划技术的两个技术范式，阐述了数字化规划技术的研究前沿和难点，得出以下4点结论。

第一，界定了数字化规划技术概念，明确区分了数字化规划技术和数字技术。数字化规划技术是规划的现状分析、建模预测、方案制定、方案选择、规划实施、规划监测评估各阶段中运用数字技术的方法，在规划过程中承担分析、模拟、决策等三类用途。

第二，数字化规划技术均可以归为数据驱动、知识驱动两个技术范式。知识驱动的技术范式是规划技术固有的，数字驱动的技术范式是数字技术融入而带来的。数字驱动、知识驱动的技术范式决定了数字化规划技术的用途类型。

第三，当前用于规划决策用途的数字化规划技术仍有待突破。数据驱动技

术范式能较好地支持规划分析、模拟用途,但其“黑箱知识”局限使其难以用于决策。规划学科自身特性决定了知识驱动技术范式存在知识提取和知识表达的瓶颈。以上两点使得数字化规划技术还难以较好地满足决策用途。

第四,数字化规划技术未来趋势是走向“数据和知识共同驱动”,其中关键是解决“从数据到知识”,运用数字技术从数据中进一步学习、提取出规划学科“白箱知识”,运用“白箱知识”实现规划分析、模拟、决策用途。

需要认识到我们当前重视数字化规划技术、探索智能规划理论,并不是朝着60年前“理性规划”的倒退。即便是未来突破了“从数据到知识”的难点,数字化规划技术仍将是为人以中心的规划提供支持。规划技术一直是人使用的,不是来替代人的决策,这是规划学科本身特性决定的。

注释

- ① 此处译自《剑桥学术词典(Cambridge Academic Content Dictionary)》[剑桥大学出版社(Cambridge University Press),2017年出版]对技术(technology)一词的解释:“Technology is a particular method by which science is used for practical purposes.”
- ② 在1970年代对理性规划的批判中,大尺度城市模型被直接批判为知识的“黑箱”。如果将大尺度城市模型与后来出现的元胞自动机、机器学习等模型中的知识相比,大尺度城市模型更适合于称为知识的“灰箱”。

参考文献

- [1] WHITE G, ZINK A, CODECÁ L, et al. A digital twin smart city for citizen feedback[J]. *Cities*, 2021, 110: 103064.
- [2] SILVENNOINEN H, KULIGA S, HERTHOGS P, et al. Effects of Gehl's urban design guidelines on walkability: a virtual reality experiment in Singaporean public housing estates[J]. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 2022, 49(9): 2409-2428.
- [3] 王焱, 钮心毅, 宋小冬. 基于城际出行的长三角城市群空间组织特征[J]. *城市规划*, 2021, 45(11): 43-53.
- [4] 杨俊宴, 邵典, 王桥, 等. 一种人工智能精细识别城市用地的方法探索: 基于建筑形态与业态大数据[J]. *城市规划*, 2021, 45(3): 46-56.
- [5] 王建国, 杨俊宴. 应对城市核心价值的数字化城市设计方法研究: 以广州总体城市设计为例[J]. *城市规划学刊*, 2021(4): 10-17.
- [6] 钮心毅, 林诗佳. 城市规划研究中的时空大数据: 技术演进、研究议题与前沿趋势[J]. *城市规划学刊*, 2022(6): 50-57.
- [7] 吴志强. 人工智能辅助城市规划[J]. *时代建筑*, 2018(1): 6-11.
- [8] KOUTRA S, IOAKIMIDIS C S. Unveiling the potential of machine learning applications in urban planning challenges[J]. *Land*, 2022, 12(1): 83.
- [9] 吴志强, 甘惟, 刘朝晖, 等. AI城市: 理论与模型架构[J]. *城市规划学刊*, 2022(5): 17-23.
- [10] 麦克哈格. 设计结合自然[M]. 芮经纬, 译. 天津: 天津大学出版社, 2020.
- [11] CARVER S J. Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems[J]. *International Journal of Geographical Information System*, 1991, 5(3): 321-339.
- [12] MALCZEWSKI J. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview[J]. *Progress in Planning*, 2004, 62(1): 3-65.
- [13] KONTOKOSTA C E, FREEMAN L, LAI Y. Up-and-coming or down-and-out? social media popularity as an indicator of neighborhood change[J]. *Journal of Planning Education and Research*, 2021: 0739456X21998445.
- [14] KIKUCHI H, EMBERGER G, ISHIDA H, et al. Dynamic simulations of compact city development to counter future population decline[J]. *Cities*, 2022, 127: 103753.
- [15] FANG Z, JIN Y, YANG T. Incorporating planning intelligence into deep learning: a planning support tool for street network design[J]. *Journal of Urban Technology*, 2022, 29(2): 99-114.
- [16] LEE D B. Retrospective on large-scale urban models[J]. *Journal of the American Planning Association*, 1994, 60(1): 35-40.
- [17] WEGENER M. Operational urban models state of the art[J]. *Journal of the American Planning Association*, 1994, 60(1): 17-29.
- [18] KLOSTERMAN R E. Large-scale urban models retrospect and prospect[J]. *Journal of the American Planning Association*, 1994, 60(1): 3-6.
- [19] WADDELL P A. Behavioral simulation model for metropolitan policy analysis and planning: residential location and housing market components of urbansim[J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2000, 27(2): 247-263.
- [20] KAKARAPARTHI S K, KOCKELMAN K M. Application of urbansim to the Austin, Texas, region: integrated-model forecasts for the year 2030[J]. *Journal of Urban Planning and Development*, 2011, 137(3): 238-247.
- [21] LANDIS J D. The California urban futures model: a new generation of metropolitan simulation models[J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 1994, 21(4): 399-420.
- [22] KLOSTERMAN R E. The what if? collaborative planning support system[J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 1999, 26(3): 393-408.
- [23] PETTIT C, BIERMANN S, PELIZARO C, et al. A data-driven approach to exploring future land use and transport scenarios: the online what if? tool[J]. *Journal of Urban Technology*, 2020, 27(2): 21-44.
- [24] LANDIS J D. Imagining land use futures: applying the California urban futures model[J]. *Journal of the American Planning Association*, 1995, 61(4): 438-457.
- [25] COUCLELIS H. From cellular automata to urban models: new principles for model development and implementation[J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 1997, 24(2): 165-174.
- [26] BENENSON I. Multi-agent simulations of residential dynamics in the city[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 1998, 22(1): 25-42.
- [27] CLARKE K C, GAYDOS L J. Loose-coupling a cellular automaton model and GIS: long-term urban growth prediction for San Francisco and Washington/Baltimore[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 1998, 12(7): 699-714.
- [28] RATTI C, FRENCHMAN D, PULSELI R M, et al. Mobile landscapes: using location data from cell phones for urban anal-

- ysis[J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2006, 33(5): 727-748.
- [29] BWAMBALE A, CHOUDHURY C F, HESS S. Modelling trip generation using mobile phone data: a latent demographics approach[J]. *Journal of Transport Geography*, 2019, 76: 276-286.
- [30] ZHANG Y T, LI Q Q, TU W, et al. Functional urban land use recognition integrating multi-source geospatial data and cross-correlations[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2019, 78: 101374.
- [31] VAN MEETEREN M, POORTHUIS A. Christaller and "big data": recalibrating central place theory via the geoweb[J]. *Urban Geography*, 2018, 39(1): 122-148.
- [32] ORTOLANO L, PERMAN C D. A planner's introduction to expert systems[J]. *Journal of the American Planning Association*, 1987, 53(1): 98-103.
- [33] KIM T J, WIGGINS L L, Wright J R. Expert systems: applications to urban planning [M]. New York, NY: Springer New York, 1990.
- [34] DAVIS J R, GRANT I W. ADAPT: A knowledge-based decision support system for producing zoning schemes[J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 1987, 14(1): 53-66.
- [35] FINDIKAKI I. SISES: an expert system for site selection[M]//Expert systems: applications to urban planning. New York, NY: Springer New York, 1990.
- [36] 陈秉钊, 潘志伟, 宋小冬, 等. 城镇建设项目规划管理智能辅助决策系统[J]. *计算结构力学及其应用*, 1989, 6(2): 1-10.
- [37] HAN S Y, KIM T J. Can expert systems help with planning? [J]. *Journal of the American Planning Association*, 1989, 55(3): 296-308.
- [38] RUBENSTEIN-MONTANO B. A survey of knowledge-based information systems for urban planning: moving towards knowledge management[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2000, 24(3): 155-172.
- [39] 叶宇, 张昭希, 张啸虎, 等. 人本尺度的街道空间品质测度: 结合街景数据和新分析技术的大规模、高精度评价框架[J]. *国际城市规划*, 2019, 34(1): 18-27.
- [40] 杨俊宴, 朱晓. 人工智能城市设计在街区尺度的逐级交互式设计模式探索[J]. *国际城市规划*, 2021, 36(2): 7-15.
- [41] 甘惟, 吴志强, 王元楷, 等. AIGC辅助城市设计的理论模型建构[J]. *城市规划学刊*, 2023(2): 12-18.
- [42] PENG Z R, LU K F, LIU Y. et al. The pathway of urban planning AI: from planning support to plan-making[J]. *Journal of Planning Education and Research*, 2023: 0739456X231180568.

修回: 2024-02