

一种基于 4D 流本体建设工程时空数据模型的地理要素更新方法

李宗华¹ 孟 成² 周海燕² 潘琛玲²

1 武汉市国土资源和规划局,湖北 武汉,430014
2 武汉市国土资源和规划信息中心,湖北 武汉,430014

摘 要:地理要素的变化与建设工程行政审批事项密切相关,主要研究面向建设工程行政审批事项的地理要素更新与应用,提出了将建筑本体及其周边地理本体以及由其引起的事件进行关联融合的方法。通过引入 4D 流本体框架,面向建设工程中建筑规划、建筑产生、建筑持存和建筑消亡 4 个阶段,设计了建设工程全生命周期时空数据模型,并以建筑本体中的房屋要素为例,开展了地理要素及其对应事件的更新应用研究。研究表明,该模型能够完整记录建筑本体的状态并对其生命周期进行连续性描述,实现了基于建筑本体生命周期的地理本体和要素事件的关联和融合。研究成果对于开展基于事件的地理要素更新、主题分析、专题规划设计等工作具有重要的理论价值和实践意义。

关键词:4D 流本体;建设工程;时空数据;地理要素更新

中图分类号:P208 **文献标志码:**A

时空数据模型是一种有效组织和管理时态地理数据、属性、空间和时间语义相融合的地理数据模型。目前较为主流的时空数据模型包括时空复合模型、连续快照模型、基态修正模型、时空立方体模型、时空对象模型和面向对象的时空数据模型等^[1-2]。在实际研究应用中,地理本体及现象在不断变化,现有时空数据模型强调海量历史时空序列数据的存储与关系维护,在与地理本体和与之对应的事件关联分析方面较弱。因此,有学者开始尝试将事件和时空地理信息进行融合研究。如李小龙^[3]基于传统时空数据模型分析了现实世界地理本体与现象时空变化过程的结构和规律,参考传感器实时观测与 Agent 模拟的特点,利用面向对象技术构建了支持动态数据管理与时空过程模拟的时空数据模型。成波等^[4]根据全空间信息系统中地理本体的基本特征,提出了一种面向地理本体及其关联关系动态变化表达的时空数据模型,该模型可显式地描述动态的时空对象及其关联关系在时空过程中的变化,有助于探讨和挖掘地理现象的基本变化规律和内在关联。董水峰等^[5]提出了基于事件的时空数据模型,该模型采用面向对象与面向过程相结合的方式,面向对象

地表达时空数据,面向过程地表达时空变化关系。杜萍等^[6]以 4D 流本体为基础,从地名的普通语义关系、空间关系和时间关系等多个方面对地名的演化进行本体建模,设计了能够全面表达时空信息的地名本体模型,该模型主要包括类型本体、空间本体、时间本体和事件本体,实现了事件与地名时空数据的关联融合。国土规划行政审批中建设工程的审批贯穿于以人工建筑为主的各种地理本体从产生到消亡的全过程,并在全流程各个状态节点,都有与之对应的事件发生。本文基于传统的时空数据模型,引入 4D 流本体的框架,从建设工程全生命周期切入,研究构建基于 4D 流本体的建设工程信息的时空数据模型。

1 建设工程信息 4D 本体模型

4D 流本体对象都具有“时间”维度,在其本质属性不变的情况下,其他随时间变化的属性可视作“流”或“流属性”,个体对象“流”发生变化的多个时间段共同描述了该个体对象,在每一个时间段中,“流”是不变的。4D 流本体的概念中,将传统时间维度与影响该本体状态变化的事件进行关

联,将时间维度具象化为事件发生的过程,能够有机地将事件和地理本体进行关联,从而基于事件的视角,将传统静态时空数据模型转化为动态时空数据模型^[7]。每一个地理本体都有明确的状态和事件标签,在状态和事件中,地理本体保持相对稳定的状态。因此,可将 4D 流本体中的时间本体作为坐标参考,构建基于事件状态的时空数据模型,以此存储、生产和更新地理要素^[8-10]。

1.1 建设工程信息的 4D 流本体模型的构建

行政审批时空信息本体是关于审批流程和地理本体的本体,其核心概念是审批事项(事件),主要描述对象是地理本体。该本体是为了表达行政审批事项与其涉及的地理本体状态变更的语义映射关系。将管理审批信息描述为一个时空变化的本体模型,由空间、时间、属性和事件状态 4 个要素描述,如图 1 所示。其数据模型表达为 $G=f(S,T,A,E)$ 。其中, G 表示管理审批信息地理本体; S 表示空间,对应于空间本体; T 表示时间,对应于时间本体; A 表示属性,对应于类型本体; E 表示事件,对应于事件本体。

1)空间本体 S 是对要素空间特征及其所在位置的空间关系的描述。应用多尺度思想对地理本体进行抽象,将其表达成点、线、多边形等基本的几何对象,从形状和位置两方面来描述地理本体的空间特征。

2)时间本体 T 包括时间点和时间段两个内容。在时间本体中,时间关系可定性地表达为地理要素各流属性之间存在的时序关系,包括开始时间点和结束时间点,从而将时间本体和事件本体关联起来。

3)类型本体 A 是一种重要的语义信息,是对地理本体的特征属性描述,属于静态属性信息。

4)事件本体 E 描述导致地理本体状态变化的原因,这些原因直接与地理要素的产生、变更和消亡相关联,并与时间本体、类型本体紧密关联。

1.2 建设工程生命周期分析及其对应地理元素变更

建筑本体具有固定的地理位置和明确的形状边界,可同时确定类型用途、结构质量、时态等属性的地理本体。在建设工程管理中,建筑本体的生命周期是指建筑本体从生产到消亡的有效时间过程。建筑本体生命周期可分为建筑物的规划、产生、持存和消亡 4 个主题事件,这些构成了建筑本体的变化。

建筑本体在其生命周期里可能由外部事件引起本体属性发生改变。在时间轴上,事件对应一个时刻点,状态是两个事件发生之间的一个时间

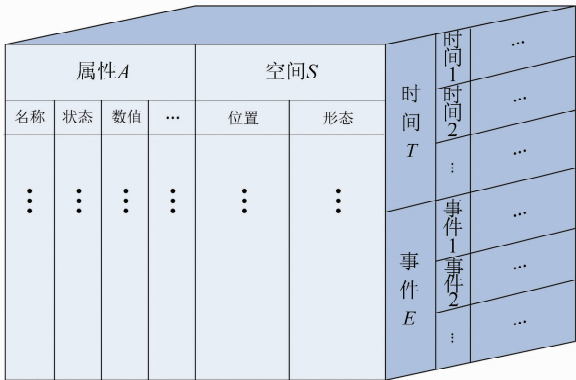


图 1 4D 流本体建设工程时空数据模型
Fig.1 4D Fluent Ontology Spatio-Temporal Data Model of Construction Project

段,在这个时间段内本体属性保持相对稳定。一个建筑本体的生命周期可以由若干个状态构成。每一个状态也有其自己的生命周期,其开始时间就是前一事件发生的时刻点,结束时间则为后一事件发生的时刻点。建筑本体在其生命周期中由外部事件(审批事件和自然突发事件)的发生导致建筑基本属性的改变,其基本状态也随之变化。如由于道路门牌号调整,可能导致建筑地址发生变化,而旧的地址描述将作为历史信息记录下来,以便对其历史信息进行追溯查询。建筑本体变化导致其他相关地理本体的变更,进而引起各项相关事件的发生,如图 2 所示。

建筑规划是建筑本体的孕育期,主要指依据规划部门提供的规划设计指标(如建筑高度、红线退界、容积率、覆盖率等)进行建筑设计。从行政审批的角度而言,建筑规划时间段包括选址意见批复、建设用地规划许可证批复、建筑工程规划许可证批复、施工许可证批复等事件实例(图 3)。

建筑施工是指工程建设实施阶段的生产活动,是把设计图纸上的建筑设计在指定的地点变成实物的过程。建筑施工时间段包括工程质量评估报告、建筑材料建筑构配件和设备试验报告等,直到建筑竣工完成。这些事件决定了建筑在其生命周期内,当前状态是否能发生改变,是否能进入下一个状态(图 4)。

建筑持存是建筑实物存在于建筑施工后建筑消亡前的状态。在此期间,可能会有多个使建筑状态变化的持存存在。在建筑持存的时间段里,建筑状态变更包括建筑空间形态变更和建筑属性变更两类事件,这两类事件包括建筑改建批复、建筑所属权变更等,其发生的时序关系无法进行预测,有可能同时发生,也有可能交替发生,也有可能建筑的生命周期内不发生,具体如图 5 所示。

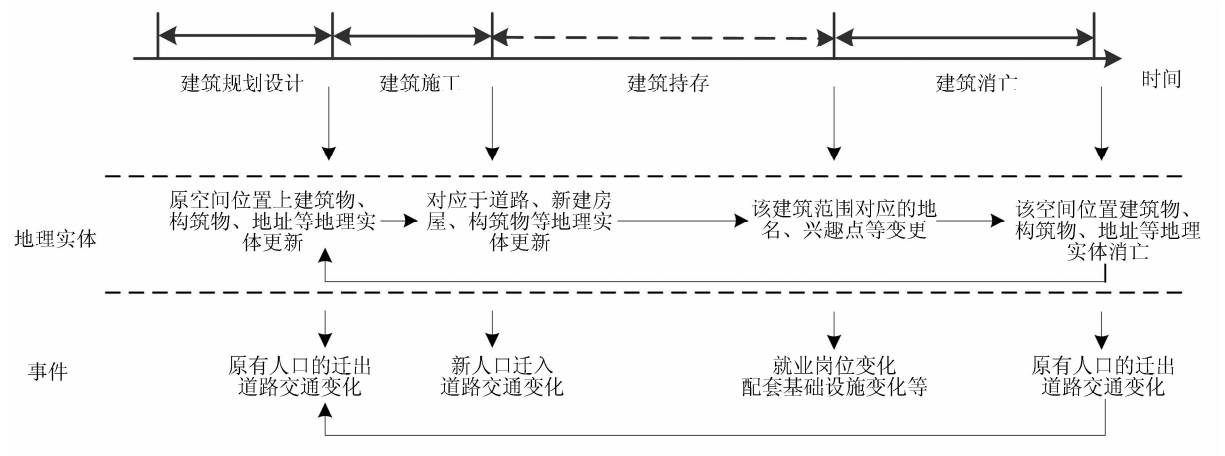


图 2 建筑本体全生命周期时间轴
Fig. 2 Construction Ontology Life-Cycle Time Axes

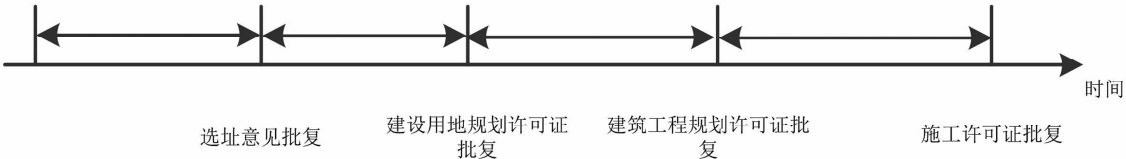


图 3 建筑规划时间轴
Fig. 3 Construction Planning Time Axes

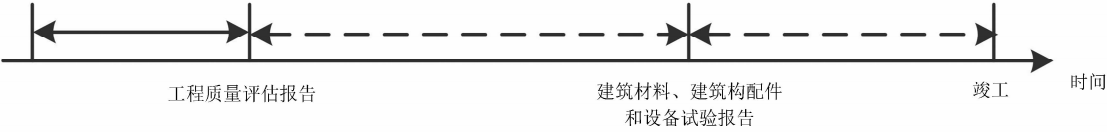


图 4 建筑施工时间轴
Fig. 4 Construction Operation Time Axes

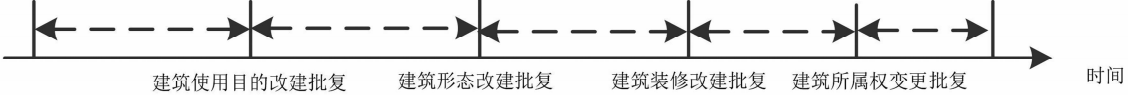


图 5 建筑持存时间轴
Fig. 5 Construction Holding Time Axes

建筑消亡是指建筑实物被确定拆迁时刻起，对建筑进行拆除的过程。在建筑拆迁的时间段里，包括变更暂停公示、拆迁（征收）方案批复、拆

迁许可证（征收决定）核发、拆迁（征收）完毕确认等事件。最终建筑消亡，该建筑的生命周期结束，如图 6 所示。

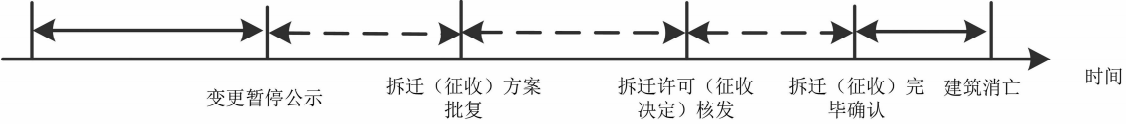


图 6 建筑消亡时间轴
Fig. 6 Construction Extinction Time Axes

2 基于建设工程时空数据模型的地理要素更新

地理要素更新是空间数据生产部门的主要任

务，目前主要有定期更新和增量更新两种模式。其中，定期更新模式相对简单，地理要素间的相互关系容易处理和保持，但存在更新周期长、数据冗余大等缺陷；增量更新以单个地理要素为基本更新单元，实现对地理要素的“及时发现、及时测定、

及时更新、及时发布”,前提是需要及时发现和测定发生变化的地理要素。建设工程是人类有组织、有目的、有严格程序的经济活动。国家明文规定,住宅、工业、仓储、办公楼、学校、医院、市政交通基础设施等建设工程项目的新建、改建、扩建、翻建和拆除等均需依法办理相应手续。基于 4D 流本体建设工程时空数据模型,以建设工程全生命周期中发生的各类事件为触发器,通过建筑本体的变化实现地理要素的实时更新,克服传统更新模式中更新不及时的问题,增加更新的时效性,保证信息更新的及时、准确、权威。

2.1 建筑本体与地理要素的映射

建筑本体与道路、房屋等专题地理数据在形式上是相互独立的,需要采用一定的方法将其关联映射到地理要素数据集上。通过指定唯一的业务标识码,可实现建筑本体从产生到消亡的全生命周期信息串联与动态管理。地理空间数据的编

码是实现地理本体与地理空间数据关联的关键,通过业务标识码与专题地理要素的空间数据编码一一对应,可建立起建筑本体与道路、房屋等专题地理要素间的关联关系。

2.2 基于建筑本体的地理要素更新

采用基于 4D 流本体的建设工程时空数据模型,对建设工程项目全生命周期中的时间、空间、事件和属性等多源信息进行转换与集成,实现数据格式和语义的集成与共享。基于本体的推理机制,实现不同位置、不同类型、不同时间,但是具有语义相关性数据的关联、检索与融合服务。在数据抽取、合并和转换的基础上,将建筑本体的 4D 流信息与对应的地理要素进行动态关联,扩展地理要素属性维度,实现道路、房屋、水体、绿地等地理要素的动态更新,并对附着于建筑本体的人口、法人单位、宏观经济等要素进行关联和核查比对。具体如图 7 所示。

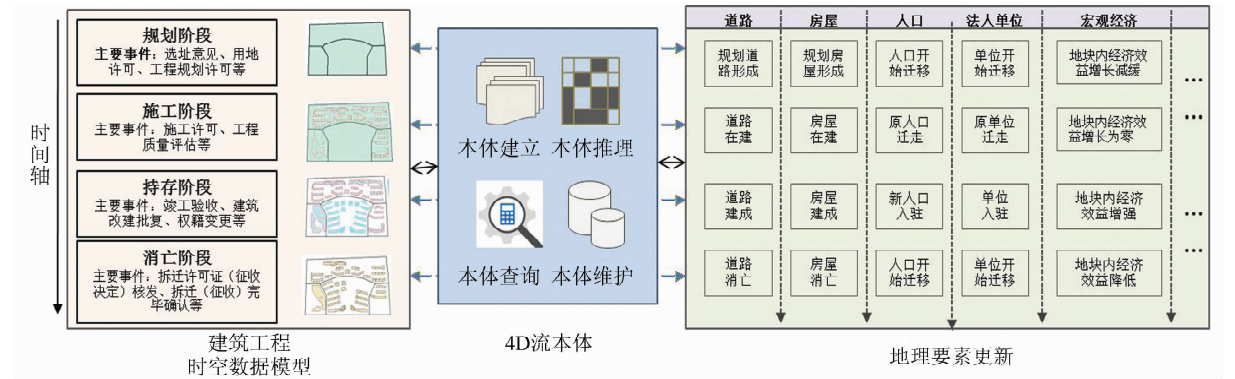


图 7 基于建筑本体的地理要素更新

Fig. 7 Update of Geographical Elements Based on Construction Ontology

2.3 应用实例

房屋要素是建筑本体中的核心要素之一,在建筑本体中占有主要比重。通过房屋信息可以准确获取城市的建筑量、容积率、建筑密度、户数、人口容量、经济状态、用地类型等详细信息,是城市建设和规划管理的重要基础数据源,可为数据积累、数据交换、数据转换和决策支持提供基础支撑。本节以房屋要素为例,进行建筑本体更新地理要素的实例研究。

《武汉智慧城市总体规划与设计》中明确将地理空间基础设施上升为智慧武汉建设的 4 大基础设施之一。智慧武汉时空信息云平台作为地理空间基础设施的具体承载,在整个智慧武汉的建设中发挥着重要的作用^[11]。房屋要素具有覆盖面广、数据量大、信息采集难度大等特点。地理要素中房屋要素的生亡事件一般归纳为出现、分割、分裂、并入、合并、消失等 6 种,与建设工程的规划、施工、持存和

消亡阶段相对应^[12]。本文以房屋数据更新为例,对基于建设工程本体的地理要素更新方式进行研究。

1) 房屋地理要素的数据更新

为客观、真实、动态地呈现城市建设状态,以时间为坐标轴,建立房屋数据库与建设工程本体时空数据模型的关联,基于本体进行知识推理与判断,实时获取时间尺度最新的房屋空间数据,对房屋实体归属地块和建筑物轮廓图形及属性等进行实时集成与入库。

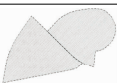



基于建设工程本体时空数据模型,在建设工程规划阶段主要提取房屋所属项目的空间范围线和项目名称、地址、建设单位、许可证文号、规划审批时间等属性信息,并以业务标识码为关键字段,更新并集成至房屋数据图层。在建设工程施工阶段,更新项目范围线和提取房屋轮廓线,同时,抽取项目审批文号、审批时间、房屋层数、房屋栋数、总户数、建筑面积、容积率、绿化率等详细属性。

在建设工程持存阶段,一方面根据遥感影像对房屋轮廓廓进行监测和动态更新,另一方面通过实地调查等形式补充房屋相关的人口、法人单位、税收额等属性信息,建立房屋时空数据库。在建设工程消亡阶段,根据拆迁许可(房屋征收决定)等审

批信息更新房屋建设状态和地块属性,并对附着于房屋的人口、经济和法人单位等信息进行核查比对,为人口、经济、法人等社会经济数据的准确采集提供参考^[13-15]。基于建设工程本体的房屋要素更新后的地理可视化表达示意详见表 1。

表 1 房屋要素更新过程中的空间、属性及地理表达要求

Tab. 1 Spatial, Attribute and Geographical Expression Requirements in the Process of Updating Housing Elements

类型	空间图形	主要属性内容	地理表达示意图
规划阶段	项目范围线	业务标识码、项目名称、地址、建设单位、审批文号、审批时间等	
施工阶段	项目范围线	业务标识码、项目名称、建设单位、用地位置、用地性质、发证时间、用地面积、总建筑面积、容积率、建筑密度、建筑高度、绿地率、停车位、总户数等	
	房屋轮廓线	业务标识码、房屋栋编码、项目名称、地址、建设单位、审批文号、审批时间、房屋层数、栋数、总户数、建筑面积、容积率、绿化率等	
	所属地块	业务标识码、项目名称、建设单位、用地位置、用地性质、发证时间、用地面积、总建筑面积、计容积率建筑面积、容积率、建筑密度、建筑高度、绿地率、停车位、总户数、实有人口数、空置率、土地用途、宗地号等	
持存阶段	房屋栋空间图形	业务标识码、房屋栋编码、项目名称、地址、建设单位、审批文号、竣工时间、房屋层数、栋数、总户数、可容人口数、实有人口数、空置率、建筑面积、容积率、绿化率等	
消亡阶段	拆迁(征收)范围线	业务标识码、文号、拆迁(征收)时间等	

2)建立时空房屋数据库

时空房屋数据库主要由时间属性、自然属性和社会属性 3 部分组成,如审批时间、在建时间、建成时间、拆除时间等时间属性,地址、名称、建筑面积等自然属性,以及一定周期内的房产登记转移等社会属性。基于建筑本体可全面摸清房屋的审批时间(依据选址意见书、规划意见、建设用地规划许可证等)、在建时间(依据建设工程规划许可证等)、建成时间(依据规划条件核实证明等)和消亡时间(依据拆迁许可证、征收决定、完毕确认

等),对不同时间段内的建设工程审批事件信息进行分类、分层、存储和关联,自动写入相应房屋要素,挂接最新状态的建设工程本体信息,实时更新房屋地理图形和属性要素,并将历史图形数据纳入房屋历史数据库,建立一套真正意义上的房屋时空数据库,为房屋数据的历史回溯、动态管理与大数据分析奠定基础。在智慧武汉时空信息云平台的建设中,建立的武汉市从 2000—2017 年的房屋时空数据库为地理空间信息的规模化应用提供了重要基础,如图 8 所示。



图 8 房屋时空数据库

Fig. 8 Housing Spatio-Temporal Database

3 结 语

建设工程行政审批事项与地理要素生命周期中状态的变化有着密切的关系,构建基于 4D 流本体时空数据模型,相较于传统的时空数据模型,能够完整地记录地理本体状态并对其生命周期进行连续性描述。本文对基于 4D 流本体的建设工程时空数据模型的构建以及在地理要素更新中的应用进行了研究,研究结论如下。

1)构建了面向建设工程行政审批信息的 4D 流本体数学模型。将 4D 流本体模型与时空立方体模型进行融合。将本体状态(事件)作为桥梁,实现对地理本体事件、空间、属性的融合,并将管理审批信息描述为一个时空变化的领域本体,构建了数据模型的表达函数 $G=f(S,T,A,E)$ 。

2)实现了基于建筑本体时间轴的地理本体和要素事件的融合。建筑本体在其生命周期中由外部事件(审批事件和自然突发事件)的发生导致建筑基本属性发生改变,相应的基本状态就会发生变化;同时,建筑本体的变化也会进一步导致其他相关地理要素的变更,进而引起各项相关事件的发生。因此,实现基于建筑本体时间轴的地理本体和要素事件的融合,能够从建设工程全生命周期的维度对地理本体、地理要素、要素事件等进行关联和融合。

3)开展了基于 4D 流本体的建设工程时空数据模型的地理要素更新应用研究。通过业务标识码与专题地理要素的空间数据编码进行一一对应,建立建筑本体与道路、房屋等专题地理要素间的映射关系。采用基于 4D 流本体的建设工程时空数据模型,对建设工程项目全生命周期过程中涉及的时间、空间、事件和属性等多源信息进行转换与集成,将建设工程本体的 4D 流信息与对应的地理要素进行动态关联,实现地理要素的动态更新,并对附着于建筑本体的人口、法人单位、宏观经济等要素进行关联融合。

参 考 文 献

[1] Bittner T, Smith B. Granular Spatio-Temporal Ontologies [C]. The AAAI Spring Symposium on Foundations and Applications of Spatio-Temporal Reasoning, California, USA,2003

[2] Harbelot B, Arenas H, Cruz C. A Semantic Model to Query Spatial-Temporal Data[M]//Information Fusion and Geographic Information Systems (IF AND GIS 2013). Berlin, Heidelberg; Springer,

2014; 75-89

[3] Li Xiaolong. Real-Time GIS Data Model Supporting Dynamic Data Management and Spatiotemporal Porcess Simulation[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2017, 46(3):402(李小龙. 支持动态数据管理与时空过程模拟的实时 GIS 数据模型研究[J]. 测绘学报, 2017, 46(3):402)

[4] Cheng Bo, Guan Xuefeng, Xiang Longgang, et al. A Conceptual Data Model for Dynamic Changes Expression of Spatio-Temporal Object and Its Association [J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2017, 19(11):1 415-1 421(成波, 关雪峰, 向隆刚, 等. 一种面向时空对象及其关联关系动态变化表达的概念数据模型[J]. 地球信息科学学报, 2017, 19(11):1 415-1 421)

[5] Dong Shuifeng, Liu Bo, Liu Lin. A 4FS-Based State-event Spatial-Temporal Data Model[J]. *Journal of Qingdao University (Natural Science Edition)*, 2016, 29(4):38-42(董水峰, 刘波, 柳林. 基于 4FS 的状态——事件时空数据模型[J]. 青岛大学学报(自然科学版), 2016, 29(4):38-42)

[6] Du Ping, Yao Yao, Xu Peng. Expression of Spatio-Temporal Information of Place Names in Ontology [J]. *Journal of Lanzhou Jiaotong University*, 2016, 35(6):137-140(杜萍, 姚瑶, 许鹏. 地名时空信息的本体表达[J]. 兰州交通大学学报, 2016, 35(6):137-140)

[7] Welty C, Fikes R, Makarios S. A Reusable Ontology for Fluents in OWL[C]. *Formal Ontology in Information System*, Amsterdam, Holland, 2006

[8] Zhao Yumei. Research and Application of Temporal Topological Relationship on the Candastral Management Information System [D]. Qingdao: Shandong University of Science and Technology, 2003(赵玉梅. 时态拓扑关系及其在地籍管理信息系统中的应用研究[D]. 青岛:山东科技大学, 2003)

[9] Li Junli, He Zongyi, Ke Dongliang, et al. An Approach for Insight into Geo-Ontology Merging Based on Description Logics[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2014, 39(3): 317-321(李军利, 何宗宜, 柯栋梁, 等. 一种描述逻辑的地理本体融合方法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2014, 39(3):317-321)

[10] Gu Haiyan, Li Haitao, Yan Li, et al. A Geographic Object-Based Image Analysis Methodology Based on Geo-ontology[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2018, 43(1):31-36(顾海燕, 李海涛, 闫利, 等. 地理本体驱动的遥感影像面向对象分析方法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2018, 43(1):31-36)

[11] Li Zonghua, Huang Xin, Peng Mingjun, et al. Re-

search on Application Framework of Smart Wuhan and Extensive Application of Geographic Information[J]. *Geomatics World*, 2015, 22(4):28-33(李宗华,黄新,彭明军,等. 智慧武汉应用体系与地理信息规模化应用研究[J]. 地理信息世界,2015,22(4):28-33)

[12] Zhu Huaji, Wu Huarui. Classification on Changes of Geographical Features Based on Geographical Event and Update Operations[J]. *Journal of Liaoning Technical University (Natural Science)*, 2010,29(3):454-458(朱华吉,吴华瑞. 基于地理事件和更新操作的地理要素增量变化分类[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2010,29(3):454-458)

[13] Zhou Zhao, Xiao Qiang, Zhao Guocheng, et al. Research on Fundamental Geo-Spatial Data continuous Updating Model[J]. *Engineering of Surveying and Mapping*, 2014, 23(1):12-16(周焱,肖强,赵国成,等. 基础地理空间数据持续更新模式分析[J]. 测绘工程,2014, 23(1):12-16)

[14] Liu Yisong. Research and Implementation on the Agent-Oriented State Calculus and Its Application in Intelligent Virtual Human[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Techonlogy, 2009(刘一松. 面向主体的状态演算及其在智能虚拟人中应用的研究与实现[D]. 南京: 南京理工大学, 2009)

[15] Tang Jianzhi, Pei Lianlian, Ren Haiying, et al. A Fast Updating Method of Housing Digital Map and Its Implementation[J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2017(1):79-82(唐建智, 裴莲莲, 任海英,等. 一种房屋电子地图快速更新的方法及其实现[J]. 测绘通报, 2017(1):79-82)

A Method of Updating Geographical Elements Based on 4D Fluent Ontology Construction Project Spatio-Temporal Data Model

LI Zonghua¹ MENG Cheng² ZHOU Haiyan² PAN Chenling²

1 Wuhan Land Resources and Urban Planing Bureau, Wuhan 430014, China

2 Wuhan Land Resources and Urban Planing Infomation Center, Wuhan 430014, China

Abstract: The change of geographical elements is closely related to the government administrative examination and approval of construction project. Aimed at the update and application of geographic elements for the government administerative examination and approval of construction project, this paper proposes the idea of integrating the construction and related ontology and the events caused by the change of ontology's state, establishes a spatio-temporal model of construction life-cycle including construction planning, operation, holding and extinction states based on 4D fluent ontology model, and applies in the updating of geographical elements by building objects. The model can record the states of geographic ontology and describe the life cycle continuous and realize association and integration of the geographic ontologies and key events based on time axes of building entities. And it is of great significance for the development of event-based updating of geographic elements, thematic analysis, and city planning and design.

Key words: 4D fluent ontology; construction project; spatio-temporal data; update of geographical elements

First author: LI Zonghua, professorate senior engineer, main research interests on land resources and urban planning management, research and practice of smart city construction. E-mail: lizonghua@wpl.gov.cn

Foundation support: Public Welfare Industry Project of the Ministry of Land and Resources, No. 201511009.