

引用格式:李冬双,刘袁,石格格,等.基于时变网络的多粒度时空对象关系演化过程表达与建模[J].地球信息科学学报,2017,19(9):1171-1177. [Li D S, Liu Y, Shi G G, et al. 2017. The expression and modeling of relationship evolution of spatio-temporal objects of multi-granularity based on time-dependent network. Journal of Geo-information Science, 19(9):1171-1177.] DOI:10.3724/SP.J.1047.2017.01171

基于时变网络的多粒度时空对象关系演化过程表达与建模

李冬双^{1,2}, 刘袁^{1,2}, 石格格^{1,2}, 俞肇元^{1,2,3*}

1. 南京师范大学地理科学学院, 南京 210023; 2. 南京师范大学 虚拟地理环境教育部重点实验室, 南京 210023;
3. 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心, 南京 210023

The Expression and Modeling of Relationship Evolution of Spatio-temporal Objects of Multi-granularity based on Time-dependent Network

LI Dongshuang^{1,2}, LIU Yuan^{1,2}, SHI Gege^{1,2} and YU Zhaoyuan^{1,2,3*}

1. College of Geographic Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China; 2. Key Laboratory of Virtual Geographic Environment, Ministry of Education, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China; 3. Jiangsu Provincial Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application, Nanjing 210023, China

Abstract: The modern expression and modeling of spatial objects is more related to the description of spatial and temporal data of multi-granularity than the correlation of spatio-temporal objects of multi-granularity. Multi-granularity expression of spatio-temporal object is a new method of expressing the temporal and spatial objects. The evolution of spatio-temporal objects is abstracted as a complex network. In this paper, based on the representation of spatio-temporal objects of multi granularity, the evolution process is formally defined. We present an initial model for constructing the process of relationship evolution with time-dependent network. In this paper, through the description and expression of the relation with the evolution process of returning farmland to forest based on time slices, we construct a dynamic and real-time network model and abstract the evolution process of object relationship of returning farmland to forests. We applied time-dependent network to clarify the evolutionary process of spatio-temporal object of multi-granularity relations, and initial expression and modeling of the evolution process. This method can make the object relation change more clearly, improve its hierarchy and efficiency, and lay the foundation for the study of the relationship of spatio-temporal objects of multi-granularity.

Key words: time-dependent network; spatio-temporal relationship of multi-granular; evolution processes

***Corresponding author:** YU Zhaoyuan, E-mail: yuzhaoyuan@163.com

摘要: 对空间事物的表达与研究模型主要针对多粒度时空数据本身的描述,而不是描述多粒度时空对象的相关性。多粒度时空对象是一种新的时空对象表达方法,其中时空对象关系的演化过程是一种抽象的复杂的网络的过程。本文在多粒度时空对象表达的基础上,对其演化过程进行形式化定义,提出以时变网络的方法构建初步的关系演化过程模型。通过对基于时间切片的退耕还林演化过程关系的描述与表达,形成动态实时变化的网络模型,从而抽象表达退耕还林过程中的对象关系的演

收稿日期: 2017-05-10; 修回日期: 2017-08-04.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFB0502300); 国家自然科学基金项目(41571379)。

作者简介: 李冬双(1992-),女,湖北十堰人,博士生,主要从事地理建模与分析方面研究。E-mail: lds19921120@163.com

*通讯作者: 俞肇元(1984-),男,安徽南陵人,博士,副教授,从事GIS计算和分析模型研究。E-mail: yuzhaoyuan@njnu.edu.cn

化过程。应用时变网络明确多粒度时空对象关系的演化过程,并对演化过程进行初步的表达和建模,可以使对象关系变化更加清晰化,提高其层次性和效率性,为今后研究多粒度时空对象关系变化规律奠定基础。

关键词 时变网络;多粒度时空对象关系;演化过程

1 引言

多粒度时空对象是对时空对象抽象的表达与描述,多粒度时空对象的概念源于全空间信息系统,全空间信息系统是把现实世界抽象为由多粒度时空对象组成的数据世界^[1]。多粒度时空对象是对现实世界中的地理实体进行抽象与具化,是在计算机构建的信息空间(数据世界)中对多粒度时空实体的具体描述。

多粒度时空数据是在时空数据的基础上演化而来,对于时空数据的建模有:针对于时空状态的有序快照模型^[2]及其扩展和基于基态修正的时空复合模型^[3];针对于时空对象以及关系的基于集合立方的层次化的具有时间维度信息的时空立体模型^[4];整合时间与空间概念的面对对象的时空概念模型 GOOSTDM^[5],以时空数据库为基础的面向移动对象的时空移动对象模型^[6]以及时空数据对象进化模型^[7]。

对于多粒度时空对象,国内外对多粒度时空数据的研究方法有很多:基于粗集理论表示近似空间区域或时间区间的时态或空间粒度方法^[8-9];基于时空粒度的近似区域的表达和操作为不同粒度间提供转换方法的多粒度时空数据库^[10]以及对定性时空粒度扩展^[11]等。基于时空粒度模型也有很多:改进注记扩展统一语义模型捕捉时间粒度和空间粒度的语义的 ST-USM 模型^[12];对 ODMG 面向对象模型中时间和空间多粒度的扩展的基于多粒度的时空数据符号表示法模型^[13],并采用了用户定义和预定义的转换函数来实现对不同粒度下时空数据的转换^[14];基于元数据模型面向简单要素规范的多粒度时空对象-关系模型^[15];基于概念层次的一种顾及多粒度的时空数据模型^[16],对时空立方体模型的进行扩展和改进的多粒度的时空数据模型(MG-SDM)^[17]等。

上述方法和模型缺少对多粒度时空对象演化过程的具体表达,在特征的整合、对象的认知、形态的描述以及对象关系的整合方面不完备,所以对于多粒度时空对象关系演化过程的表达应寻求新的方法。时变网络是基于时间切片的动态网络,具有

层次性和简化性的特征。在某一时间片段上多粒度时空对象关系形成时变网络,使关系的表达具有层次性和关联性。将多粒度时空对象关系的属性和状态以时变网络的形式表达,有利于实时监测对象关系变化,增强对对象表达的整体性和关联性,以便做出相应的决策。

2 多粒度时空对象

多粒度时空对象源于时空对象包括:时空参照、时空位置、空间形态、属性特征、组成结构、关联关系、行为能力以及认知表达8个部分(图1),通过定义对多粒度时空对象的某种或者某些操作,得到多粒度时空对象的响应机制,从而更好的深入研究对象。

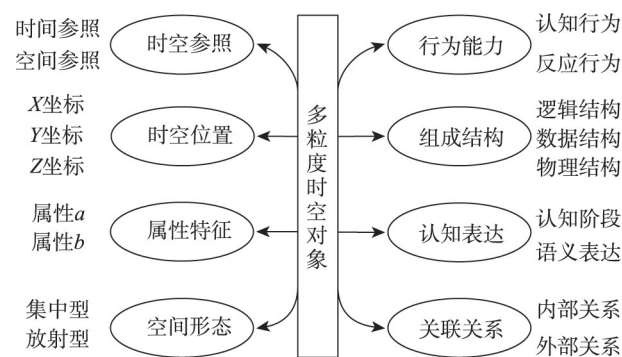


图1 多粒度时空对象组成部分

Fig. 1 The components of spatio-temporal objects of multi-granularity

根据上述内容,对多粒度时空对象进行形式化的定义:对于一个地理对象,其属性集合为 E , $E = \{R, S, D, A, \Sigma, G, \mathfrak{K}, \mathfrak{f}\}$, 其中 R 为时空参照; S 为时空位置; D 为属性特征; A 为空间形态; Σ 为行为能力; G 为组成结构; \mathfrak{K} 为认知表达; \mathfrak{f} 为关联关系。

时空对象的8大部分为时空对象多粒度表达奠定了基础,其中时空参照是指对对象随着空间与时间维度增长进行粒化分析,定义不同时空基准,以达到对象的立体和具体的表达;时空位置是时空对象相对和绝对位置的表达与抽象;属性特征是将属性信息提取形成属性表,在编号和突出特点上标注主键,形成属性描述集合,并进行粒化分类;空间形

态是根据时间与空间的发展,定义对象的空间形态发生改变的响应的运算法则,体现多粒度时空对象的静态突变和动态渐变;组成结构使多粒度时空对象更具有分离组合的特性,可正向转换亦可逆向生成;行为能力通过学习习得相对反应,当某一要素满足某一具体要求时,粒度化反应行为;认知方面是对对象的时空扩展及认知表达,同时可以进行语义的表达与描述,粒度对象并形成一定的规则进行描述;关联关系是粒化包括对对象与对象之间的外部关系的关联表达和对象的各个属性之间的内部关系的关联表达为网络,进行存储和分析。

3 多粒度时空对象关系演化过程的形式化定义

在全空间地理信息系统^[18]中,从空间相互联系和相互作用出发,多粒度时空对象的演化操作是对自身集合的演化,是一定状态集合到另一一定状态集合的变化操作。这种集合操作是多对多映射,集合中的任一元素都可能通过多种映射途径转化为新的元素。具体定义如下:

给定任意多粒度时空对象 $M=(E,O)$, O 为操作集合, E 为属性组合,这里仅讨论演化过程,若其可以在特定的操作下 γ 发生演化,即多粒度时空对象 M 自身不发生变化,但其表达集合 $E=\{R,S,D,A,\Sigma,G,\S,\mathfrak{f}\}$ 任意元素均会伴随着操作 γ 发生变化,即可认为多粒度时空对象 M 发生了演化。为此,定义演化算子 *Evolution* 如式(1)所示:

$Evolution(M,\gamma)=M:$

$$\left\{ \begin{array}{l} R \rightarrow R_{new}, S \rightarrow S_{new}, D \rightarrow D_{new}, A \rightarrow A_{new}, \Sigma \rightarrow \Sigma_{new} \\ G \rightarrow G_{new}, \S \rightarrow \S_{new}, \mathfrak{f} \rightarrow \mathfrak{f}_{new} \end{array} \right\} \quad (1)$$

根据该定义,可以认为演化操作是对同一个对象从其初始状态的一个表达集合向另一个状态的表达集合的映射,因此演化算子 *Evolution*() 又可以定义为式(2):

$$Evolution(M,\gamma)=M: \{E \rightarrow E_{new}\} \quad (2)$$

对于任意多粒度时空对象关联关系的表达可用一个包含空间关系(\mathfrak{f}_s)、时间关系(\mathfrak{f}_t)、属性关系(\mathfrak{f}_a)的集合描述,则定义 R 来表达关联关系集合: $\mathfrak{f}=\{\mathfrak{f}_s,\mathfrak{f}_t,\mathfrak{f}_a\}$,若给定2个地理对象 O_m 、 O_n ,则对于 O_m 、 O_n 之间关联关系的形式化表达为: $\mathfrak{f}(O_m,O_n,\mathfrak{f}_{mn})$,当2个对象关联关系发生变化时,关联

关系演化函数的形式化表达为: $B(O_m,O_n,\mathfrak{f}_{mn},\mathfrak{f}_{mn}')$ 。由于多粒度时空对象关系的复杂性以及层次性,则提出利用时变网络的方法进行对多粒度时空对象关联关系表达。

4 基于时变网络的多粒度时空对象关系演化过程的实现方法

4.1 时变网络

时变网络基于网络结构,网络结构具有静态性和动态性,由于多粒度时空对象一般为动态对象,对其的描述存在一定的能动性,利用时变网络对动态性具体化和形象化的描述,更加体现多粒度时空对象动态变化特征。时变网络结构的静态性体现在网络中的固定节点与其节点的相关性,而动态性一方面体现在结构的变化,即产生新的关系或者关系消亡,另一方面体现在值发生变化,即权重发生变化或类型发生变化。对于时变网络的表达,设 $G(V,E)$ 为任意一张时变网络图的集合,其中 V 为节点集合, $|V|$ 为节点数目, E 为节点对应的边的集合,即 $E=\{e_1,e_2,e_3,\dots,e_i\} (1 \leq i \leq |V| \times |V|)$,以 V_1 、 V_2 连接线 e_1 为例, $e_1(V_1,V_2,value)$,其中 $value$ 值为 V_1 、 V_2 连接的权重,根据时间特性,将网络分为 t 个时间层次,用 V_{ti} 表示在 t 时刻的第 i 个节点,据此得到某2个时间点的时变网络图(图2)。

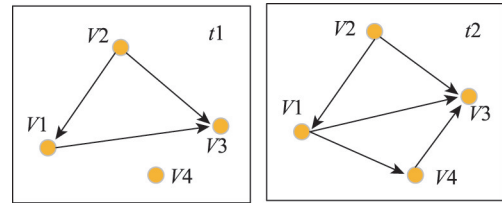


图2 某2个时间点的时变网络图

Fig. 2 A time varying network at two time points

4.2 基于时变网络的多粒度时空对象关系演化过程

根据上述时变网络特性以及定义,对多粒度时空对象关系演化过程进行表达:在某一时刻,多粒度时空对象之间存在某种关联关系,随着时间的变化或者对某一多粒度时空对象进行某种操作,使得多粒度时空对象的空间关系、时间关系以及属性关系的变化,即网络结构中多粒度时空对象的关联关系发生变化,形成这一时刻的表达多粒度时空对象关系的网络切片,将多个连续时刻的多粒度时空对

象关系的网络切片聚集,表达多粒度时空对象关系的某个时间段的关联关系演化,运用时变网络的方法,通过有向图和无向图的方式表达:当对象之间存在的关联关系具有单向特征时,则在时间切片上形成时间切片有向图,单向表达;当对象之间存在的关联关系同时影响连接的对象,则在时间切片上形成时间切片无向图,双向表达,根据对象之间关系只进行一次说明。从而显性的表达多粒度时空对象,隐形动态表达多粒度时空对象关联关系的网络变化。

根据上述分析,以多粒度时空对象关联关系有向图时间切片演化过程(图3)为例,将原来关联关系图以时间切片二分图的形式清晰表达出来,构建方法如下:

当以某一时间点为起点形成时间切片,在该时间切片中包含多个多粒度时空对象点,即插入多粒度时空对象点信息: $Insertpoint(t_1, t_2, V_i)$, V_i 为多粒度时空对象 i , t_1 为 V_i 产生的时间, t_2 为 V_i 消亡的时间,二者构成 V_i 生命周期的时间范围;

当插入 V_i 时,其消亡时间未知时,可使用方法 $Insertpoint(t_1, \infty, V_i)$, 表明 V_i 永远不会消亡,直到通过 $Endpoint(t_2, V_i)$, 显式为其定义消亡时间;

同理,构建多粒度时空对象关联关系插入方法:插入有向图函数为: $InsertUlinkline(t_1, t_2, V_1, V_2, value)$, 插入无向图函数: $Insertlinkline(t_1, t_2, V_1, V_2, value)$, 其中 t_1 为开始时间, t_2 为消亡时间,当 t_2 为 ∞ 时,表示关联关系的消亡时间未知,通过该函数建立起起始时间网络切片图, $value$ 为关联关系的

值;连接结束方法为: $EndLinkLine(t_2, V_1, V_2)$, t_2 为 $V_1 - V_2$ 连接结束时间。

5 退耕还林的多粒度时空对象关系演化过程建模

随着社会经济的发展进步,人们意识到毁林开垦和进行陡坡地、沙化地耕种,造成了严重的水土流失和风沙危害,使得洪涝、干旱、沙尘暴等自然灾害发生频率增长,人民群众的生产、生活受到严重影响,生态安全受到威胁。退耕还林工程即对荒山荒地地进行造林,对过分耕种的地区进行还林还草。退耕还林工程^[19],改善农民生活,促进生态平衡,符合可持续发展要求。退耕还林可加快造林绿化的步伐,增大林地面积;退耕还林还具有防风固沙、保持水土、减轻污染、调节气候、保护生物多样性的作用;退耕还林可加快农村产业结构的调整,增加山区农民收入,促进群众进入小康社会。

以往的退耕还林研究多从耕地、森林面积的比重来评价工程进展与实施情况。该思路一方面未从系统论的角度引入与耕地和森林演化密切相关的建筑、道路、水域和草地等要素,导致其结果多为静态的、单一的研究;另一方面也忽视了上述各要素空间上分布的合理性,例如草地和森林相间分布具有更好的防风固沙作用,森林与湖泊相邻有利于水资源的保持等。本文首先根据退耕还林情境系统结构构建多粒度时空对象场景,在该场景中包含树木、草地、耕地、居民地、水域、道路等对象。对于

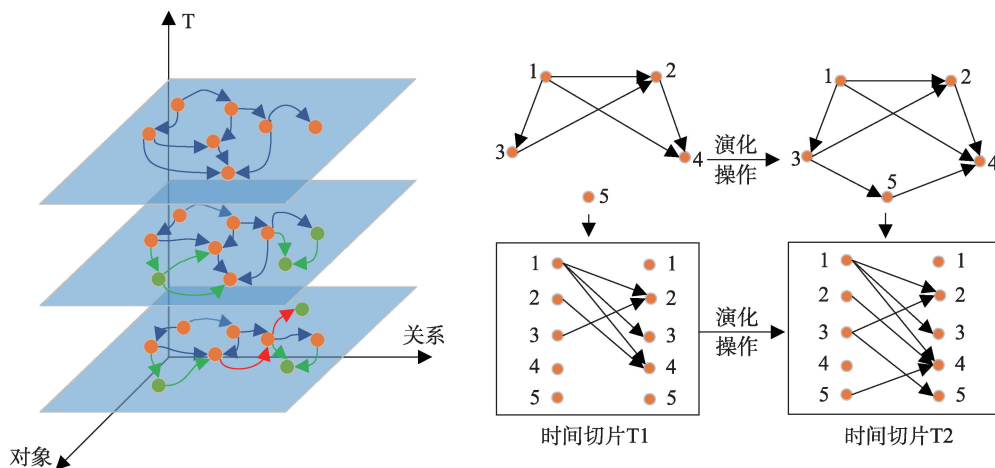


图3 多粒度时空对象关联关系有向图时间切片演化过程

Fig. 3 The evolution process of the time slices of the directed graph of the correlation of spatio-temporal objects of multi-granularity

空间分布特征,引入空间推理中区域连接演算模型,即RCC8演算^[20]:其中8个关系分别为相离(DC)、相邻(EC)、交叠(PO)、相等(EQ)、被覆盖(TPP)、被包含(NTPP)、覆盖(TPPI)和包含(NTPPI)。考虑到场景中各对象的特殊性,这里只考虑DC、EC和NTPPI 3类关系。

如图4所示,退耕还林场景的演化被分为4个阶段:

(1)阶段1:耕地面积明显大于绿化面积,持续的耕地发展,会使得池塘周围形成陡坡,同时造成土地盐碱化,各类多粒度时空对象多表达的网络中存在RCC关系的有:住宅与耕地、道路的相邻(EC)关系,耕地与住宅、绿地、道路的相邻关系,绿地与森林的包含(NTPPI)关系。该阶段森林与住宅、道路、水域等都是相离(DC)的关系,不利于构建可持续发展发展的生态系统;

(2)阶段2:根据上述情况,制定退耕还林方案:以生态优先,将发展农村经济,防治水土流失、保护和建设基本农田为基本目标,促进农民退耕还林,建立起植被管护和配套保障措施。该阶段产生了新的绿地和森林,且绿地与森林与住宅和耕地相邻(EC),更加有利于农民生态环境的优化,在改良土

壤质量的同时还可进一步提高粮食产量,提高农民退耕还林的积极性;

(3)阶段3:进一步推进“退耕还林、封山绿化、以粮代赈、个体承包”等政策,以生态林主,建立起植被管护和配套保障措施。随着退耕还林进程的深化,产生新的的大片的绿地,森林的面积也进一步延伸,使森林与水域的空间关系由DC转变为EC,可进一步利用绿地和森林改善水资源环境;

(4)阶段4:在退耕还林还草的过程中,应实时考虑农村产业结构以及生态环境的适应性,进行调整,形成实时动态更新。根据当前场景用地结构态势,进一步扩展森林的面积,使得其与道路相邻(EC),在改善当地景观环境的同时也有利于修复人为建筑物对自然环境的破坏。

根据上述描述关系,建立了数据库,多粒度时空对象具有初期阶段、发展阶段以及消亡阶段。根据多粒度时空对象表达退耕还林的关系演化过程,假设以该地区开始进行退耕还林的第1阶段为起始时间,退耕还林场景项目结束时的第4阶段为终止时间,该实例为无向图,故构建退耕还林的关系演化过程时变网络无向图(图5)和动态时间切片操作表(表1)。

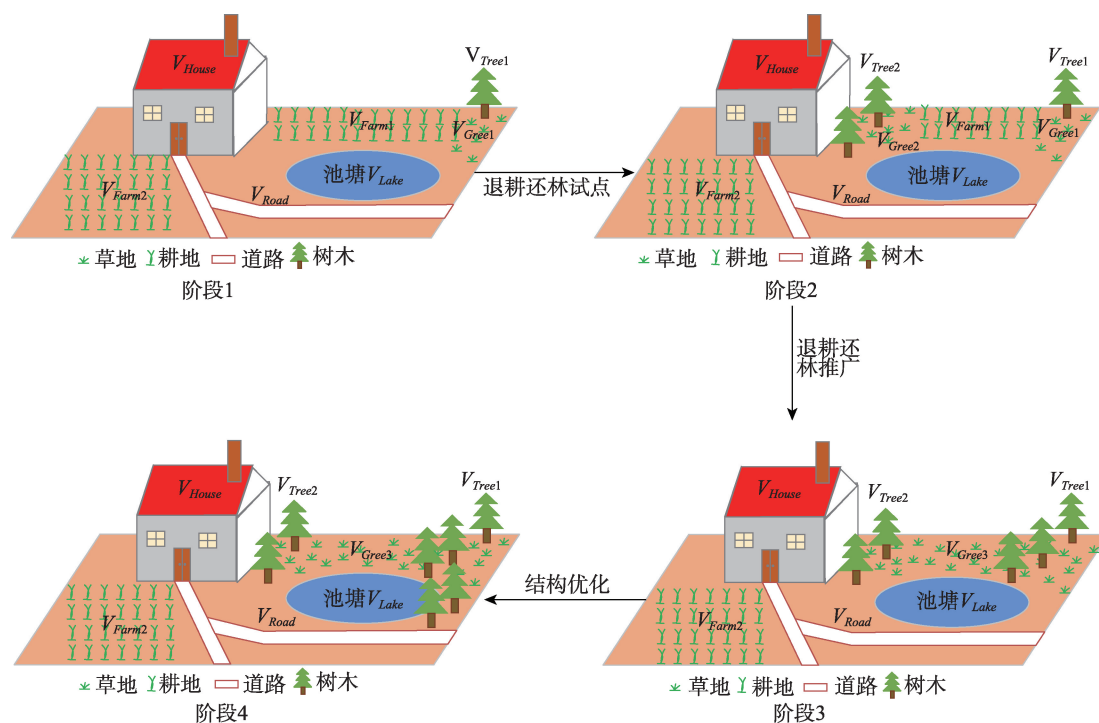
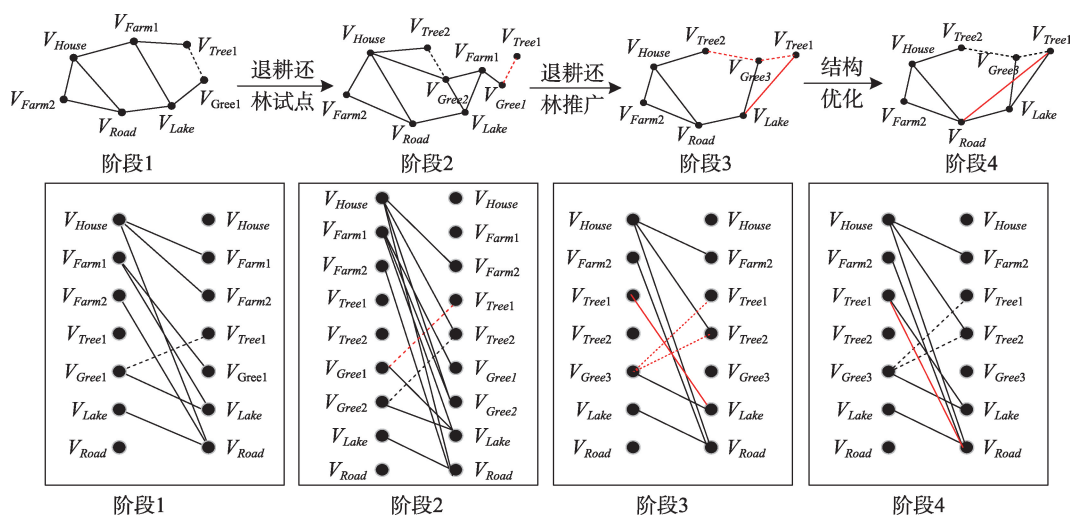


图4 多粒度时空对象表达退耕还林的关系演化过程

Fig. 4 Evolution processes of the relationship of returning farmland to forests for the expression of spatio-temporal object of multi-granularity



注:实线为EC关系;虚线为NTPPI关系;黑色虚线为当前NTPPI关系;红色虚线是新增NTPPI关系

图5 退耕还林的关系演化过程时变网络图

Fig. 5 Time-dependent network for the evolution of the relationship between returning farmland to forest

表1 动态时间切片操作表

Tab. 1 Dynamic time slicing operation table

时间	节点操作	关系操作
Time1	$Insertpoint(t_1, \infty, \{V_{House}, V_{Farm1}, V_{Farm2}, V_{Tree1}, V_{Gree1}, V_{Lake}, V_{Road}\})$	$Insertlinkline(t_1, \infty, V_{House}, V_{Farm1}, EC); Insertlinkline(t_1, \infty, V_{House}, V_{Farm2}, EC);$ $Insertlinkline(t_1, \infty, V_{House}, V_{Road}, EC); Insertlinkline(t_1, \infty, V_{Farm1}, V_{Gree1}, EC); Insertlinkline(t_1, \infty, V_{Farm1}, V_{Lake},$ $EC); Insertlinkline(t_1, \infty, V_{Farm2}, V_{Road}, EC); Insertlinkline(t_1, \infty, V_{Gree1}, V_{Tree1}, NTPPI); Insertlinkline(t_1, \infty,$ $V_{Gree1}, V_{Lake}, EC); Insertlinkline(t_1, \infty, V_{Lake}, V_{Road}, EC)$
Time2	$Insertpoint(t_2, \infty, \{V_{Tree2}, V_{Gree2}\})$	$Endlinkline(t_2, V_{House}, V_{Farm1}, EC);$ $Insertlinkline(t_2, \infty, V_{House}, V_{Tree2}, EC); Insertlinkline(t_2, \infty, V_{House}, V_{Gree2}, EC);$ $Insertlinkline(t_2, \infty, V_{Farm1}, V_{Gree1}, EC); Insertlinkline(t_2, \infty, V_{Farm1}, V_{Gree2}, EC);$ $Insertlinkline(t_2, \infty, V_{Gree2}, V_{Tree2}, NTPPI); Insertlinkline(t_2, \infty, V_{Gree2}, V_{Lake}, EC);$
Time3	$Endpoint(t_3, \{V_{Farm1}, V_{Gree1}, V_{Gree2}\})$ $Insertpoint(t_3, \infty, V_{Gree3})$	$Endlinkline(t_3, V_{Farm1}, V_{Gree1}, EC); Endlinkline(t_3, V_{Farm1}, V_{Gree2}, EC)$ $Endlinkline(t_3, V_{Farm1}, V_{Lake}, EC); Endlinkline(t_3, V_{Gree1}, V_{Tree1}, NTPPI); Endlinkline(t_3, V_{Gree1}, V_{Lake}, EC);$ $Endlinkline(t_3, V_{Gree2}, V_{Tree2}, NTPPI); Endlinkline(t_3, V_{Gree2}, V_{Lake}, EC); Insertlinkline(t_3, \infty, V_{Tree1}, V_{Lake}, EC);$ $Insertlinkline(t_3, \infty, V_{Gree3}, V_{Tree1}, NTPPI); Insertlinkline(t_3, \infty, V_{Gree3}, V_{Tree2}, NTPPI);$ $Insertlinkline(t_3, \infty, V_{Gree3}, V_{Lake}, EC)$
Time4	—	$Insertlinkline(t_3, \infty, V_{Tree1}, V_{Road}, EC)$

结果表明,基于时间切片的时变网络,可直观地显示各阶段多粒度时空对象间的空间关系,有利于分析当前的退耕还林进展与态势。基于时变网络操作的事件表达则可动态反映网络的变化,包括节点的产生与消亡,以及空间关系的变化。在未来研究中需要进一步构建基于图数据库的关系查询方法,用于分析当前多粒度时空对象间关系类型与结构特征,可为诸如退耕还林一类复杂系统结构发展的优劣提供评价。

6 结论与讨论

本文提出了基于时变网络的对象与对象之间

的网络关系的表达,首先提出时变网络的形式化的概念,建立了以时间为维度的对象关系网络图;其次,基于时变网络建立了多粒度时空对象表达退耕还林的关系演化过程,将基于时变网络的多粒度时空对象关系的演化过程表达与建模有效的把变化的网络与多粒度时空对象关系的演化过程联系在一起;最后,通过建立对象关系网络图以及动态时间切片的操作函数,更加直观的描述对象在某一时间点或某一时间段的演化过程,大大简化和直观的表达了对象与对象之间的关系变化。

本文所提出的基于时变网络的多粒度时空对象关系的演化过程表达与建模,并且进行了初步研究,研究说明本方法在有很大的发挥空间,为多粒

度时空对象之间的关系抽取提供便利的条件,有利于根据相应的规则对各个多粒度时空对象在某一时间点或某一时间段的关系的分析及查找,实现多粒度时空对象关系的溯源与过程表达,同时,后面将会对关联关系在不同粒度上的变化情况进行深入的研究,引入Neo4j一类的图数据库来实现存储和检索操作,为空间变化过程中对多粒度时空对象关系的规划以及在时间尺度上的对象之间关系的网络化方面提供更好的决策方案。

参考文献(References):

- [1] 华一新.全空间信息系统的核心问题和关键技术[J].测绘科学技术学报,2016,33(4):331-335. [Hua Y X. The key issues and key technologies of pan-spatial information system[J]. Journal of Geomatics Science and Technology, 2016,33(4):331-335.]
- [2] Armstrong M P. Temporality in spatial databases[A]. Proceedings: GIS/ LIS' 88[C]. 1988,2:880-889.
- [3] 李勇,陈少沛,谭建军,等.基于基态距优化的改进基态修正时空数据模型研究[J].测绘科学,2007,32(1):26-29. [Li Y, Chen S P, Tan J J, et al. Research on improved ground state correction of spatiotemporal data model based on ground state distance optimization[J]. Science of Surveying and Mapping, 2007,32(1):26-29.]
- [4] Pang Y C. Development of process-based model for dynamic interaction process in spatiotemporal GIS[D]. Hong Kong: The Hong Kong Polytechnic University, 1999.
- [5] 姜晓轶,周云轩,蒋雪中.基于OGC简单要素规范的面向对象时空数据模型[J].地理信息世界,2006(5):10-15. [Jiang X Z, Zhou Y X, Jiang X Z. Object oriented spatiotemporal data model based on OGC simple element specification[J]. Geomatics World, 2006,5:10-15.]
- [6] 易善桢,张勇,周立柱.一种平面移动对象的时空数据模型[J].软件学报,2002,13(8):1657-1665. [Yi S Z, Zhang Y, Zhou L Z. A spatiotemporal data model for planar moving objects. Journal of Software, 2002,13(8):1657-1665.]
- [7] 余江峰,冯学智,林广发.多尺度时空数据的集成与对象进化模型[J].测绘学报,2005,34(2):71-77. [She J F, Feng X Z, Lin G F. Integration of multi-scale spatial temporal data and object evolution model[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2005,34(2):71-77.]
- [8] Thomas Bittner, J Stell. Rough sets in approximate spatial reasoning[C]. In: Proc of RSCTC 2000. Berlin: Springer Verlag. 2000: 145-156.
- [9] Thomas Bittner. Approximate qualitative temporal reasoning[J]. Annals of Mathematics and Artificial Intelligence, 2002,36(1-2):39-80.
- [10] 王先生,刘大有.多粒度时空数据库[J].计算机研究与发展,2004(41):189-190. [Wang X S, Liu D Y. Multi granularity spatiotemporal database [J]. Computer research and development, 2004,41:189-190.]
- [11] John G Stell. Qualitative extents for spatio-temporal granularity. Spatial Cognition and Coputation, 2003,3(2-3): 119-136.
- [12] Katri V, Ram S, Snodgrass R T, et al. Supporting user defined granularities and indeterminacy in a spatiotemporal conceptual model[J]. Special Issues of Annals of Mathematics and Artificial Intelligence on Spatial and Temporal Granularity, 2002:195-232.
- [13] Camossi E, Bertolotto M, Bertino E, et al. A Multi-granular Spatiotemporal Data Model[C]. Proceeding of 11th International Symposium on Advances in Geographic Information Systems (ACM GIS2003), Louisiana, 2003:94-101.
- [14] Camossi E, Bertolotto M, Bertino E. A multi-granular object-oriented framework supporting spatio-temporal granularity conversions[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2006,20(5):500-534.
- [15] Bertino E, Cuadra D, Martinez P. An Object-Relational Approach to the Representation of Multi-granular Spatio-Temporal Data//O. Pastor, J. Falcao Cunha, eds. CAiSE 2005, LNCS 3520. Springer- Verlag Berlin Heidelberg, 2005:119-134.
- [16] 李阳东,韩震,童小华.一种顾及多粒度的时空数据模型[J].计算机科学,2009,36(4B):338-341. [Li Y D, Han Z, Tong X H. A spatio-temporal data model taking into account multiple granularities[J]. Computer Science, 2009, 36(4B):338-341.]
- [17] 徐跃跃.基于多粒度的时空数据组织方法研究[D].桂林: 桂林理工大学,2014:21-30. [Xu Y Y. Research on organization method of spatiotemporal data of multi-granularity [D]. Guilin: Guilin University of Technology, 2014:21-30.]
- [18] 周成虎.全空间地理信息系统展望[J].地理科学进展, 2015,34(2):129-131. [Zhou C H. The prospect of the whole spatial geographic information system[J]. Progress in Geography, 2015,34(2):129-131.]
- [19] 王翠仙.浅析退耕还林的几大好处[J].山西林业,2002 (S1):15-16. [Wang C X. Several benefits of returning farmland to forest[J]. Forestry of Shanxi, 2002(S1):15-16.]
- [20] D A Randell, Z Cui, A G Cohn. A spatial logic based on regions and connection[C]. Proceeding 3rd Int. Conf. on Knowledge Representation and Reasoning, Morgan Kaufmann, San Mateo, 1992:165-176.