

引用格式:王健健,王艳楠,周良辰,等.多粒度时空对象关联关系的分类体系与表达模型[J].地球信息科学学报,2017,19(9):1164-1170. [Wang J J, Wang Y N, Zhou L C, et al. 2017. The classification system and expression model of the relationship of spatiotemporal object of multi-granularity. Journal of Geo-information Science, 19(9):1164-1170. ] DOI:10.3724/SP.J.1047.2017.01164

# 多粒度时空对象关联关系的分类体系与表达模型

王健健<sup>1,2</sup>,王艳楠<sup>1,2</sup>,周良辰<sup>1,2,3</sup>,林冰仙<sup>1,2,3\*</sup>

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 Classification System and Expression Model of the Relationship of Spatio-temporal Object of Multi-Granularity

WANG Jianjian<sup>1,2</sup>, WANG Yannan<sup>1,2</sup>, ZHOU Liangchen<sup>1,2,3</sup> and LIN Bingxian<sup>1,2,3\*</sup>

1. School of Geographic Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China; 2. Key Laboratory of Virtual Geographic Environment of The 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 relationship of geographic objects is the interaction between geographic objects. Any geographical objects are not independent, and have a certain relationship with other geographical objects. Besides, these associations are complex and diverse. The description of relationship of geographical objects in traditional GIS data model focuses on spatial relations. Other relationships often need complicated calculation and inference to obtain. So it's hard to completely express the complex relationships of geographical objects, and it does not completely meet human cognition of geographical phenomena. However, in pan-spatial system, according to the needs of the common geographic analysis, we can classify and express the relationship of spatiotemporal objects of multi-granularity, which is convenient for the pan-position abstraction and expression of the objective entity. The relationship of the objects can be divided into five categories: spatial relation, temporal relation, attribute relation, causal relation and cognitive relation. Finally, we use the geographic entity as a case to analyze the expression model of the relation.

**Key words:** spatio-temporal objects of multi-granularity; relationship; expression model

**\*Corresponding author:** LIN Bingxian, E-mail: lbx1984@hotmail.com

**摘要** 地理对象之间的关联关系是地理对象之间的相互作用形式。任何地理对象都不是独立存在的,与其他的地理对象有一定的关联关系,并且这些关联关系是复杂多样的。地理场景就是在地理对象之间普遍存在的、复杂多样的关联作用下形成的一个统一的整体。传统GIS数据模型对地理对象之间关联关系的描述多侧重于空间关系,其他的关联关系往往需要经过比较复杂的计算和推理后求得,难以完整地表达地理对象之间复杂的相互作用关系,不完全符合人类对地理现象的认知情况。然而,在全空间系统中,可以根据常见的地理分析需求对多粒度时空对象间关联、作用关系进行分类表达,便于客观实体全方位的抽象与表达。对象间的关联关系可主要分为空间关系、时间关系、属性关系、因果关系、认知关系5大类。本文用地理实体作为案例,分析了关联关系的表达模型。

**关键词** 多粒度时空对象;关联关系;表达模型

收稿日期 2017-05-05;修回日期:2017-08-08.

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(41571381)。

作者简介 王健健(1991-),男,硕士生,主要从事GIS空间分析和算法研究。E-mail: wjian1213@163.com

\*通讯作者 林冰仙(1984-),女,博士,讲师,主要从事GIS应用与虚拟地理环境研究。E-mail: lbx1984@hotmail.com

## 1 引言

全空间信息系统将地理信息系统的空间尺度扩展到了微观和宏观空间,将空间数据扩展到了时空大数据,将空间分析扩展到了大数据空间解析,提出了构建无所不在的空间信息系统世界的构想<sup>[1]</sup>。所谓的全空间是对常规GIS研究对象在空间范畴、属性特征、时空关系、认知能力、行为能力等方面的扩展和延拓,突出表现为其在空间的泛在性<sup>[2]</sup>。在全空间系统中,所有的客观实体都是以对象形式存在,为了客观实体在全空间下全方位的抽象与表达,量化描述客观实体和实体之间的关联关系十分重要。当前的地理对象之间关联关系的描述更多侧重于空间关系,其他的关联关系往往需要经过比较复杂的计算与推理,难以完整地表达地理对象之间复杂的相互作用关系。因此,本文从常见的地理分析需求出发,分析了多粒度时空对象的关联关系,全面表达对象的空间、时间、属性、因果、认知等关联关系,为构建可支撑复杂的地理分析、地理过程模拟的数据模型奠定基础。

## 2 多粒度时空对象关联关系

多粒度是指用不同的颗粒大小来对世界感知,是空间数据和时态数据的固有本质。时空对象的多粒度是在空间粒度和时间粒度上的统一,若 $SG$ 是空间域 $S$ 内的空间粒度, $TG$ 是时间域 $T$ 内的时间粒度,给定空间粒 $SG(i) \in SG$ 和时间粒 $TG(j) = [t_j^1, t_j^2] \in TG$ ,如果对任意 $r \subseteq SG(i)$ 和 $t_j^1 \leq t \leq t_j^2$ ,都有 $I(r, t) = I(t_j^1, SG(j))$ (表示在空间区域 $SG(i)$ 和时间区域 $TG(j)$ 内, $I$ 唯一且恒定)则称 $STG(i, j) = SG(i) \otimes TG(j)$ 为时空粒。而多粒度时空对象是在计算机构建的信息空间中对多粒度时空实体的具体描述,以数据、模型、规则、逻辑、知识等形式进行表达<sup>[3]</sup>。

多粒度时空对象的关联关系是对象间关联、作用关系的表达。根据常见的地理分析需求对多粒度时空对象的关联关系进行分类表达,地理要素关联关系分别包括空间关系( $Rs$ )、时间关系( $Rt$ )、属性关系( $Ra$ )、因果关系( $Rc$ )、认知关系( $Rco$ )5大类。由于这5类关系均可能同时存在定量关系和定性关系,其关系强度的取值可以是数值型变量或定性变量。基于关系集合的定义,对象的关联关系是对象关系的合集,对象关系又是对象与对象间不同

关系与强度的合集。对象的关联关系可以通过网络图模型进行抽象,其中网络图的节点表达特定的对象或者是多粒度时空对象特定粒度上的一个实例,而网络的边表征对象间的关系类型。对象与对象间存在一种或多种的关联类型,而每种关联关系又有类型与强度之分,对应图模型中即表现为路径数量与权重值的不同,构成复杂的多路径超图模型。对该超图模型进行拓展,也可以进一步支撑描述对象之间关联关系的操作与计算。

给定任意两对象 $A, B$ ,定义两者关系集合 $R=G(V, E)$ 集合, $G$ 为二者关联关系的网络图。其中: $V=\{A, B\}$ 为关联关系网络 $G$ 的节点集合; $E=\{\oplus\{Rs:Vs\}, \oplus\{Rt:Vt\}, \oplus\{Ra:Va\}, \oplus\{Rc:Vc\}, \oplus\{Rco:Vco\}\}$ 为关联关系网络中对象 $A, B$ 之间的关系集合,其中: $\{Rs\}, \{Rt\}, \{Ra\}, \{Rc\}, \{Rco\}$ 为5种关联关系; $\{Vs\}, \{Vt\}, \{Va\}, \{Vc\}, \{Vco\}$ 分别为与 $\{Rs\}, \{Rt\}, \{Ra\}, \{Rc\}, \{Rco\}$ 相对应的关系强度集合; $\{Rs:Vs\}, \{Rt:Vt\}, \{Ra:Va\}, \{Rc:Vc\}, \{Rco:Vco\}$ 为关系集合 $R$ 的关系类型及其对应的关系强度组合形成的二元组集合; $\oplus$ 为 $n$ 元运算符,即对于任意一类关系,不同关系子类之间的运算相对独立。

关系强度可以为确定的关系强度数值(如表征相关关系的相关系数)、关系类型的值域集合(如空间拓扑关系中的拓扑关系类型)以及非确定性关系的隶属度或概率值(如Bayes因果网络分析中的因果关系的概率值)。

## 3 关联关系分类

根据全空间信息系统中对对象模型的抽象,对上述5类关系进行进一步的细化,探索其主要的关系类型、表达方式和取值模式以实现对多粒度时空对象关联关系的高效表达。主要的关系细分如图1所示。

### 3.1 空间关系( $Rs$ )

空间关系用于描述空间实体之间拓扑、方位、形态等方面的关系<sup>[3-4]</sup>。多粒度时空对象间的空间关系是主要包括空间实体之间的拓扑关系、方位关系和度量关系。

#### 3.1.1 拓扑关系

拓扑关系描述的是空间实体之间的邻接、关联和包含关系。区域连接演算(RCC)包含8种可能的区域之间的拓扑关系可以用来表达面状地理对象之间邻接、关联和包含等拓扑关系<sup>[5]</sup>。面向多粒度

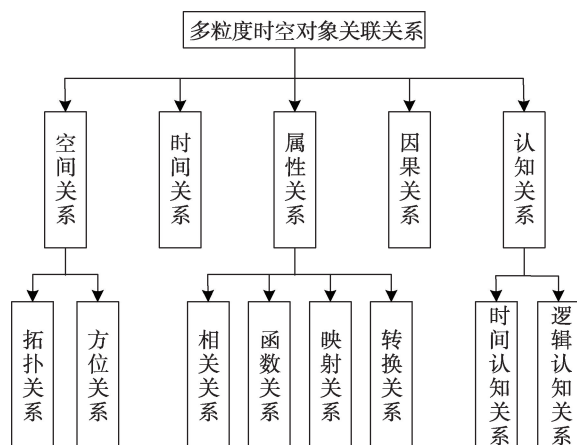


图1 多粒度时空对象关联关系分类体系

Fig. 1 Classification system of the relationship of spatio-temporal objects of multi-granularity

时空对象的拓扑关系表达,可以定义更为精细的拓扑关系。对多粒度时空对象的拓扑关系而言,根据拓扑关系的不同组合规则可以通过进一步的数学推理实现对未知关系的推理与判别,其值域依然是上述8种RCC拓扑关系的集合<sup>[6]</sup>。

Cohn等认为区域定义了一种自然的方法来表述与定性表现有关的不确定性,而且任何物理实体所占的空间都是一个区域而不是点,因而空间关系表达法采用区域链接法而不是点集交来描述<sup>[7]</sup>。舒红等将时间视为一维欧氏空间,提出基于点集拓扑的时态拓扑关系描述框架,将Egenhofer的4元组与9元组空间关系描述从空间域扩展到时空域<sup>[8]</sup>。Egenhofer等基于点集拓扑理论提出9IM(九交模型)及DE-9IM(维度扩张的九交模型)<sup>[9-10]</sup>。

### 3.1.2 方位关系

空间方位关系将空间分为适用于所有空间实体的一组方向或角度。空间方位关系可以利用Frank基本方位演算(CDC)来表示<sup>[11-12]</sup>。基本方位演算将空间分为4个或者8个方位,并且引入了一个额外的“Null”方位,代表2个空间实体之间没有方位信息,即2个空间实体在同一个位置或者距离非常近。Frank提出了方向关系代数描述方法的性质和运算,主要运算有反运算和组合运算<sup>[13]</sup>。

可将空间目标及其周围的区域分成带有方向性的几个区域,通过各目标本身及方向区域之间的交的结果来描述空间关系,具有代表性的是Pequet等提出的三角化模型以及四方向、八方向分区扩展模型<sup>[14]</sup>。

## 3.2 时间关系(Rt)

时间关系用于描述地理实体或地理过程发生

的时间点和它们之间的相对时间关系。按照时间的表达方式,时间关系的表达可分为定量时间关系和定性时间关系2类。其中定量时间关系为信息具有绝对的、数值形式的时间标签。定性时间关系不关心绝对时间值,而是考虑信息的相对时间关系。定量时间分析方法主要适用于对象具有精确的时间数据,并且对时间精度有要求的场景。

以“当我打开房间灯的时候,小明不在房间里”事件为例。“将我打开房间灯”定义为事件A,“小明在房间里”定义为事件B,则事件A与事件B的时间关系的区间代数公式表达为(式(1))所示,即事件A与事件B可能的时间关系为A precedes(p), meets(m), is met by(mi)或is preceded by(pi)B。

$$A \{p, m, mi, pi, \} B \quad (1)$$

## 3.3 属性关系(Ra)

属性关系用于描述多粒度时空对象属性特征之间的相关、函数、映射与转换关系。因此,可以定义(式(2)):

$$\{Ra\} = \{\oplus\{Rac:Vac\}, \oplus\{Raf:Vaf\}, \oplus\{Ram:Vam\}, \oplus\{Rat:Vat\}\} \quad (2)$$

式中:  $\{Rac:Vac\}$ 、 $\{Raf:Vaf\}$ 、 $\{Ram:Vam\}$ 、 $\{Rat:Vat\}$ 分别为相关、函数、映射与转换关系及其对应的关系强度组合形成的二元组集合。

如温度和降水之间的关联可以是相关关系。其次,在建筑物建模过程中,墙体、门、窗等物件在构成建筑物对象时,由不同的对象组合映射成独立的对象,其对应的表达集合与操作集合均需要映射关系。

### (1) 相关关系 $\{Rac:Vac\}$

相关关系表征2个或多个不同的对象属性之间可能存在的非确定性的关联关系,其既可以是数据自身性质决定的物理意义上的属性相关,也可以是数据在数据库组织过程中数据与数据之间的相关。相关关系的形式化表达为(式(3)):

$$Correl(O_m, O_n) = \{Rac:Vac\} \quad (3)$$

式中:2个对象  $O_m$ 、 $O_n$ 间的关系类型是  $Rac$ ,关系强度为  $Vac$ 。

### (2) 函数关系 $\{Raf:Vaf\}$

函数关系表征两个或多个对象属性之间可能存在的确定性的函数依存关系,包括数值函数关系、概率函数关系、逻辑函数关系。函数关系的形式化表达如下(式(4)):



$$Function(O_m, O_n) = \{Raf:Vaf\} \quad (4)$$

式中:2个对象  $O_m, O_n$  间的关系类型是  $Raf$ , 关系强度为  $Vaf$ 。

### (3) 映射关系 $\{Ram:Vam\}$

映射关系表示从单个或多个对象映射至新的对象。映射关系包括表达映射和操作映射关系映射关系的形式化表达为(式(5)):

$$Map(A, B) = \{Ram:Vam\} = \{E_m \rightarrow E_n, O_m \rightarrow O_n\} \quad (5)$$

式中:  $E_m \rightarrow E_n$  为表达映射关系;  $O_m \rightarrow O_n$  为操作映射关系。

### (4) 转换关系 $\{Rat:Vat\}$

转换关系分为对象转换关系、表达转换关系、操作转换关系3类,其中对象转换关系指对象自身不同要素之间的转换,其可以定义如下(式(6)):

$$Trans(A) = \{Rat:Vat\} = \{E \rightarrow E_{new}, O \rightarrow O_{new}\} \quad (6)$$

式中:  $E \rightarrow E_{new}$  为表达转换关系;  $O \rightarrow O_{new}$  为操作转换关系。

## 3.4 因果关系( $Rc$ )

因果关系表征2个多粒度时空对象之间具有明确的发生引起和被引起关系<sup>[15]</sup>,其必定存在因对象和果对象,是不可逆的单向映射。对因果关系的表达存在逻辑因果关系、概率因果关系、时序因果关系、推理因果关系。因果关系是有时间先后顺序的相关关系,是对象之间引起与被引起的关系。按照因果关系的对应关系,因果关系包含多种关联形式,包括单因单果、单因多果、多因单果、多因多果,直接因果关系和间接因果关系。

例如地球的公转与自转造成地球表面太阳高度角发生变化,进一步的影响气温,最终气温影响降水,这些对象之间的关系都可以使用因果网进行因果分析<sup>[16]</sup>。

## 3.5 认知关系( $Rco$ )

认知关系主要表达多粒度时空对象在自主认知或群体决策学习中形成的关系,其表达可以分为定性认知关系和定量认知关系2类;认知关系的逻辑分为直接认知、间接认知、推理认知和综合认知;从信息表达模式上有精确认知和非精确认知。一般情况下,认知关系需要通过推理机利用逻辑运算加以表达。由于认知关系相对复杂,本文只给出几种典型的认知关系的逻辑结构。

### (1) 时间认知关系

如在给定的时间  $t_0$  中,对象对时间  $t$  产生特定认

知  $f$  的认知关系描述为(式(7)):

$$(t > t_0 \Rightarrow f(t)) \quad (7)$$

在时间相关的认知关系中,需要定义时间的先后,定义“>”表征在某个特定的时间点之后,“<”表征在某个特定的时间点之前,常数  $now$  表征当前时间,  $\exists t$  是指在某个时间发生,  $\forall t$  是指一直在发生,则各种不同的认知行为发生的时间可以定义如下:

Pp (认知  $p$  在过去某个时间发生):  $\exists t(t < now \wedge p(t))$

Fp (认知  $p$  在将来某个时间发生):  $\exists t(now < t \wedge p(t))$

Hp (认知  $p$  过去一直在发生):  $\forall t(t < now \Rightarrow p(t))$

Gp (认知  $p$  将来会一直发生):  $\forall t(now < t \Rightarrow p(t))$

其他的时间相关的认知关系,都可以根据上述谓词加以定义。

### (2) 逻辑认知关系

给定任意一个面向特定对象  $c$  的认知  $p$ , 标定  $c: p$ , 根据对象序列的变化和演化,可以利用事件-状态机制进行截取,推断  $c0:p0$  的认知。

## 4 表达模型

对象关联关系的表达是对象间广泛关系的抽象定义,是对应实例在抽象定义的基础上进行细化实现与相关操作的结果。考虑多粒度时空对象本身结构的复杂性,关联关系可能同时存在确定性关系和不确定性关系(模糊关系或概率关系),无论是确定性关系还是不确定性关系,都可以通过多层嵌套的多路径超图模型加以准确表达。

### 4.1 不确定性关系表达

对于地理要素之间的不确定关联关系可以用隶属度关系图来进行表示。隶属度关系图中,每条边分配一个二元组标签,表示两个节点之间的关系类型和隶属度值。其次2个节点之间可以有多条边,即2个节点之间具有多种不同隶属度关联关系。2个节点之间有一条实线的边和多条虚线的边,其中实线边是隶属度值最大的一条边,即对应地理要素之间可能性最大的一种关联关系。通过提取隶属度关系图中的实线边可以提取出一个子关系图,该子图是最有可能的关联关系图。

由于一些地理对象本质上关联关系的不明确性,对于同一类型的关联关系,2个地理对象也可以有多种关联关系,每种关联关系通过  $truthValue$  值来表示2个地理对象之间每种关联关系的隶属度<sup>[17]</sup>。如可用  $truthValue(Rst(A, B, R), V)$  表示对象  $A$  和对象  $B$  之间关系  $R$  的隶属度是  $V$ 。

## 4.2 基于网络图的多重关系表达

在上述模型中,可以将对象和被关联对象作为2个不同的网络节点,将关系类型和关系强度定义为连接上述2个对象的边,进而利用网络图的方式对关系加以表达<sup>[18-19]</sup>。图模型用无向图、有向图或者混合图,以一种可视化、计算高效的方式表示多元随机变量间的相依知识(条件独立)。关联关系网络图 $G$ 是2个集合 $V, E$ 的集合,其中:集合 $E$ 是集合 $V \times V$ 的一个子集,被称为图的边集,多用于表示实际系统中个体之间的关系或相互作用;集合 $V$ 称为图的顶点集,往往用来代表实际系统中的个体。若 $\{x, y\} \in E$ ,就称图 $G$ 中有一条从 $x$ 到 $y$ 的弧(有向边),记为 $x \rightarrow y$ ,其中顶点 $x$ 叫做弧的起点,顶点 $y$ 叫做弧的终点。根据定义,从任意顶点 $x$ 到 $y$ 至多只有一条弧,这是因为如果2个顶点之间有多种需要区分的关系或者相互作用,总是在多个图中分别表

示,从而不至于因为这种复杂的关系或者相互作用而带来解析困难。如果再假设图 $G$ 中不含自己到自己的弧,图 $G$ 则为有向简单图。

基于网络图的关系表达,是一个连接两个对象节点之间一个复杂的多路径超图。由于多粒度关联关系集合 $R$ 中的任意一类关系均可进行进一步的细分,在总的关系图中的任意一条边 $\{R_s: V_s\}$ 、 $\{R_t: V_t\}$ 、 $\{R_a: V_a\}$ 、 $\{R_c: V_c\}$ 、 $\{R_{co}: V_{co}\}$ 也是一个子网络,并可进一步分解得到诸如 $\{R_{s1}: V_{s1}\}$ 、 $\{R_{s2}: V_{s2}\}$ 、 $\{R_{si}: V_{si}\}$ 的子关系网络,上述子网络的集合形成了对象 $O_m, O_n$ 所有的关系集合。在多粒度时空对象模型中,对象在不同粒度上具有不同的关联关系。基于网络图的多粒度关联关系表达,是一个连接任意两个对象节点的复杂多路径超图。给定任意两对象 $A, B$ ,其多粒度关联关系的基本示意如图2所示。

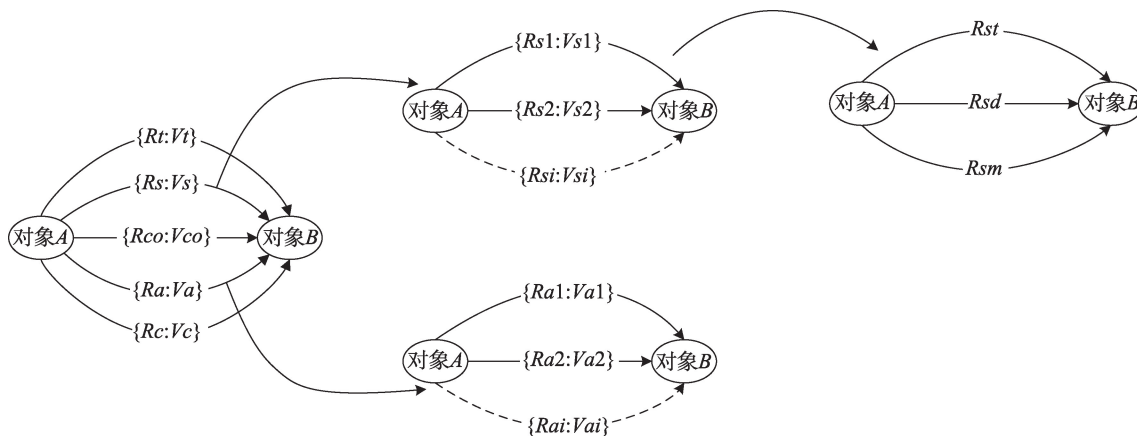


图2 多粒度关联关系表达的示意图

Fig. 2 Sketch map of the relationship expression of multi-granularity

对象关系的计算模式定义在集合关系计算的逻辑之上,由于采用了网络的形式进行关系表达,其不仅可以内蕴直接对接到诸如Neo4J等图数据库(Graph Database),更可以便捷的通过图算法进行关系的高效检索、识别与推理。同时,对于多粒度时空对象而言,由于粒度信息的引入,其在不同粒度上的关系可能存在不同,该种以网络模型为基础的嵌套关系网络可以非常方便的拓展到不同粒度,从而实现了对多粒度时空对象关系的全方位表达。

## 5 案例分析

本文以南京市玄武湖公园为例,综合考虑整个

场景内的地理现象、地理事物、自然环境,提取场景内可能存在的各种关联关系,如空间关系、时间关系、属性关系、因果关系,最终以图模型的方式进行表达(图3)。其中,图3(a)是以南京市玄武湖及其周边部分地理要素为例,进行空间关系的图模型表达,基于基本拓扑关系对空间关系的描述,玄武湖与梁州、环洲都是相接关系,梁州与环洲、美食区是相离关系。图3(b)是以玄武湖公园中桃树的生长周期为例的时间关系的表达,桃树生长过程发生的时间点包括开花、长叶、结果、落叶。图3(c)是以环洲花园小生态圈为例进行属性关系的图模型表达,根据相关关系分析,其中植物、虫是鸟的食物,同时植物也是虫的食物,而植物与微生物又存在共生关

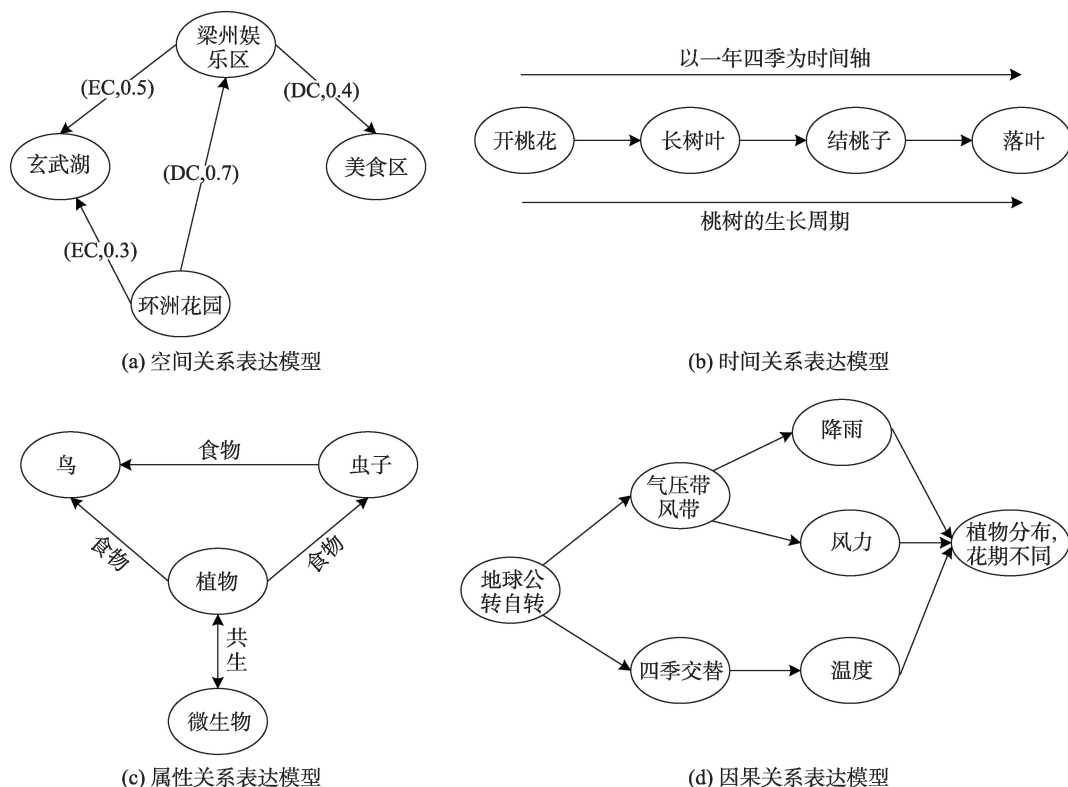


图3 关联关系分类体系的表达模型

Fig. 3 The expression model of relationship classification system

系。图3(d)表达的是对象因果关系,由于地球公转、自转,形成气压带、风带,以及四季交替的变化,造成地区的降水,风向,以温度发生变化,最终影响植物的分布,不同品种的花期不同。

在案例中,各个多粒度对象之间通过网络图表达了详细的多重关联关系,通过复杂多路径超图,客观实体和实体之间的关联关系得以具体化理解。

## 6 结论与讨论

客观实体在全空间下对象化,其中关联关系对于对象在时空尺度上的演化是至关重要的。将地理对象之间的关联关系进行分类、扩展,能更加有效的进行GIS综合分析。关联关系在某种程度上表达了对象之间的相互关系,由于多粒度时空对象本身结构的复杂性,关联关系进一步支撑了描述对象之间的表达和操作。最终通过多层嵌套的多路径超图模型,对关联关系可能同时存在确定性关系和不确定性关系加以表达,将地理对象之间的关联关系进行了可视化表达,使对象之间关联关系更明确。

### 参考文献(References):

- [1] 周成虎.全空间信息系统展望[J].地理科学进展,2015,34(2):129-131. [Zhou C H. Prospects on pan-spatial information system[J]. Progress in Geography, 2015,34(2): 129-131.]
- [2] 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 core problems and key technologies of pan-spatial information system[J]. Journal of Geomatics Science and Technology, 2016,33(4):331-335.]
- [3] 陈军,赵仁亮.GIS空间关系的基本问题与研究进展[J].测绘学报,1999,28(2):95-102. [Chen J, Zhao R L. Spatial relations in GIS: a survey on its key issues and research progress[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 1999,28(2):95-102.]
- [4] 廖楚江,杜清运. GIS空间关系描述模型研究综述[J].测绘科学,2004,29(4):79-82. [Liao C J, Du Q Y. Review on description model of GIS spatial relationship[J]. Science of Surveying and Mapping, 2004,29(4):79-82.]
- [5] Cohn A G, Bennet T B, Gooday J, et al. Qualitative spatial representation and reasoning with the region connection calculus[J]. Geoinformatica, 1997,1(1):1-44.
- [6] Renz J. Qualitative spatial reasoning with topological in-

- formation[M]. New York: Springer-Verlag, 2002:191-203.
- [7] 杜世宏,秦其明,王桥.空间关系及其应用[J].地学前缘, 2006,13(3):69-80. [ Du S H, Qin Q M, Wang Q. The spatial relations in GIS and their applications[J]. Earth Science Frontiers, 2006,13(3):69-80. ]
- [8] 舒红,陈军.时空拓扑关系定义及时态拓扑关系描述[J].测绘学报,1997,26(4):299-306. [ Shu H, Chen J. Definition of spatiotemporal topological relationships and description of temporal topological relationships[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 1997,26(4):299-306. ]
- [9] Egenhofer M J, Herring J R. Categorizing binary topological relationships between regions, lines and points in geographic data bases[A]. In: A Framework for the Definition of Topological Relationships and An Approach to Spatial Reasoning within this Framework[C]. Santa Barbara, CA, 1991:1-28.
- [10] Clementini E, Di F P, Oostem P V. A small set of formal topological relationships suitable for end-user interaction. In: D.Abel and B.C.Ooi(eds). Advances in Spatial Databases[C]. New York:Springer-Verlag, 1993:277-295.
- [11] Cohn A G, Li S, Liu W, et al. Reasoning about topological and cardinal direction relations between 2- dimensional spatial objects[J]. Journal of Artificial Intelligence Research, 2014,51:493-532.
- [12] Zhang X, Liu W, Li S, et al. Reasoning with cardinal directions: An efficient algorithm[C]. National Conference on Artificial Intelligence. Atlantis: Atlantis Press, 2008: 387-392.
- [13] Frank A U. Qualitative spatial reasoning: cardinal directions as an example[J]. International Journal of Geographical Information Science, 1996,10(3):269-290.
- [14] Abdelmoty A I, Williams M H. Approaches to the representation of qualitative spatial relationships for geographic databases[J]. Proceedings of Ieas & Iwgis', 1994:216-221.
- [15] 维之.论因果关系的定义[J].青海社会科学,2001(1):117-121. [ Wei Z. On the definition of causality[J]. Qinghai Social Sciences, 2001,1:117-121. ]
- [16] 王双成,林士敏,陆玉昌.用贝叶斯网络进行因果分析[J].计算机科学,2000,27(10):80-83. [ Wang S C, Lin S M, Lu Y C. Bayesian causal analysis[J]. Computer Science, 2000,27(10):80-83. ]
- [17] Goertzel B, Geisweiller N, Coelho L, et al. Real-world reasoning: toward scalable, uncertain spatiotemporal, contextual and causal inference[M]. Atlantis: Atlantis Press, 2011.
- [18] 韩浩明.图数据库系统研究综述[J].计算机光盘软件与应用,2014(23):14-15. [ Han H M. Review on graph database system[J]. Computer CD Software and Applications, 2014,23:14-15. ]
- [19] 王余蓝.图形数据库 NEO4J 与关系数据库的比较研究[J].现代电子技术,2012,35(20):77-79. [ Wang Y L. Comparison of graphic data base NEO4J and relational database. Modern Electronics Technique, 2012,35(20):77-79. ]