

引用格式: 丁小辉, 张树清, 陈祥葱, 等. 时空对象行为分类与形式化表达[J]. 地球信息科学学报, 2017, 19(9): 1195-1200. [Ding X H, Zhang S Q, Chen X C, et al. 2017. A study on the classification and formalization of the behavior of spatiotemporal object. Journal of Geo-information Science, 19(9): 1195-1200. ] DOI:10.3724/SP.J.1047.2017.01195

# 时空对象行为分类与形式化表达

丁小辉<sup>1,2</sup>, 张树清<sup>1\*</sup>, 陈祥葱<sup>1,2</sup>, 李华朋<sup>1</sup>, 刘 照<sup>3</sup>

1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130102; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;  
3. 哈尔滨市勘察测绘研究院, 哈尔滨 150010

## A Study on the Classification and Formalization of the Behavior of Spatio-temporal Object

Ding Xiaohui<sup>1,2</sup>, Zhang Shuqing<sup>1\*</sup>, Chen Xiangcong<sup>1,2</sup>, Li Huapeng<sup>1</sup> and Liu Zhao<sup>3</sup>

1. Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130102, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Harbin Institute of Geotechnical Investigation and Surveying, Harbin 150010, China

**Abstract:** Traditional behavior-driven spatio-temporal data models mainly focus on the spatial movement property of an spatio-temporal object. However, they ignore the changes of attributive characteristics and relational properties caused by the behavior. As a result, the behavior-driven mechanism—an important feature in the pan-spatial information—has not been adequately investigated. In this paper, the spatio-temporal behavior was comprehensively investigated from the following aspects: firstly, the definition of the behavior was provided and the necessity of taking the behavior as one of the tuples of spatiotemporal ontology was demonstrated; secondly, the behavior was partitioned as 4 categories according to the changed features, including spatial behavior, attributive behavior, relational behavior and composite behavior; thirdly, definitions of the four behavior types and their corresponding formalized descriptive methods were proposed; finally, the behavior-driven mechanism in the spatio-temporal ontology was studied. This research lays a theoretical foundation for the study of spatio-temporal object model under the behavior-driven mechanism.

**Key words:** spatio-temporal object; behavior-driven; spatio-temporal ontology; behavior

**\*Corresponding author:** ZHANG Shuqing, E-mail: zhangshuqing@neigae.ac.cn

**摘要:** 基于行为驱动的传统时空数据模型只关注时空对象的空间运动行为, 忽略了行为对时空对象属性、关系等的改变, 导致行为对时空对象的驱动机制研究不足。时空行为是全空间信息系统表达的重要特征之一, 为此, 本文从以下几个方面阐述了时空对象的行为。首先, 本文阐述3行为的定义及将行为作为时空本体的元组的必要性。其次, 研究了时空对象行为的复杂性、可继承性及在时态上的延续性等特征。再次, 根据行为的作用对象, 将时空对象的行为分为空间行为、属性行为、关系行为及复合行为4类行为, 并给出了上述4类行为的定义与形式化表达方式。最后, 分析了时空本体中时空行为的驱动机制。通过时空行为分类及其在时空本体中的形式化表达研究, 为基于行为驱动的时空对象构模奠定了理论基础。

**关键词** 时空对象; 行为驱动; 时空本体; 行为

收稿日期 2017-05-10; 修回日期: 2017-08-29.

基金项目 国家重点研发计划项目(2016YFB0502300)。

作者简介 丁小辉(1989-), 男, 江西新余人, 博士生, 3D GIS数据模型。E-mail: dxh2017@sina.com

\*通讯作者 张树清(1964-), 男, 吉林白山人, 研究员, GIS数据模型。E-mail: zhangshuqing@neigae.ac.cn

# 1 引言

从哲学领域来讲,运动是物质的根本属性与存在方式,其具体的表现形式是行为与存在。而近年来,行为建模已经被广泛地应用于虚拟现实等领域,以表达建模对象的运动。但在时态GIS(TGIS)中,虽然基于状态的时空数据模型、基于事件的时空数据模型及基于过程的时空数据模型等被相继提出以表达和分析时空现象的发展演变。但时空行为对于时空信息的理解至关重要<sup>[1]</sup>,基于行为的GIS时空数据模型已经在个体行为建模、交通和城市规划等领域展开了大量研究应用。然而,真正面向客观世界,从时空实体的行为特征出发构建的面向对象的时空数据模型并不多见,这主要是因为时空实体的行为类型多样,特征复杂,难以采用单一方式进行表达。

传统的TGIS数据模型无法描述地理现象与地理过程的完整时空语义,也无法满足全空间信息系统的需求<sup>[2]</sup>。行为是全空间信息系统所要表达的特征之一<sup>[3]</sup>。行为改变的是时空对象的空间特征、属性特征、关系特征等。面向个体行为的时空数据模型主要研究了行为对个体空间位置的改变<sup>[4-5]</sup>。而Pelekis将时空对象的变化分为几何变化、属性变化、拓扑变化、几何-属性变化、几何-拓扑变化、属性-拓扑变化、几何-属性-拓扑变化7大类型<sup>[6]</sup>。但其只从时空对象的几何形状变化及拓扑关系变化来进行建模,对空间特征中的位置、姿态及其他关系类型的表达不足。本文从行为的角度出发,结合时空对象的表达内容(空间、属性、关系等),将此7类变化归为空间行为、属性行为、关系行为和复合行为4类行为的作用结果,并分别给出上述4类行为的形式化表达方式。

## 2 时空对象行为及其特征

### 2.1 时空对象行为

不同的领域对行为有不同的定义。关于行为的解释,最早来自于生理学,将其解释为完整有机体的外显活动,并由外部刺激和内部变化引起。而在控制论中,认为行为是实体随时间推移而产生的自身状态的变迁,是实体对象在内在规律作用及外部干扰下的表现<sup>[7]</sup>。无论生理学还是控制论在对行为的定义中,均表达了行为触发的原因和行为产生

的结果。客观现实世界中的实体行为复杂多样,其行为特征也随场景变化而不断变化,时空对象行为是时空对象在外部干扰或者内在规律的作用下,其空间特征(如空间位置、几何形状、空间姿态及拓扑关系等)、属性特征及对象间关系(如隶属关系)等发生的变化。时空行为是多粒度时空对象的基本特征之一,传统静态GIS无法描述时空对象的行为特征<sup>[8]</sup>。

当前行为研究,大多将其分为个体行为与群体行为,并分别进行建模<sup>[9]</sup>。对于个体行为,其建模方法包括基于过程的行为建模、基于对象的行为建模及基于Agent的行为建模方法等<sup>[9]</sup>;而群体行为建模则相对比较复杂,必须考虑个体与群体之间的关系。

随着本体论在信息技术领域的广泛应用,将时空本体应用于时空对象建模能大大提高模型的泛化能力,而时空行为是时空本体表达的基本内容之一,如式(1)所示。将行为纳入时空本体进行表达,一方面,有利于构建跨行业应用的开放式统一时空本体构模框架<sup>[10]</sup>;另一方面,有效地表达时空语义是时空数据模型的根本任务<sup>[11]</sup>,由于基于行为的时空对象建模能够有效地表达时空变化及其产生的根本原因,因此基于行为的时空对象建模能够提高模型的语义完整性。然而,将时空对象的所有行为纳入时空本体是不现实的,这不仅增加了建模的难度,还降低了时空本体的普适性。

$$O = \{OBJECT, R, B\} \quad (1)$$

式中: $O$ 为时空本体; $OBJECT$ 为时空对象,包含其空间特征、时间特征及属性特征; $R$ 为时空对象间的关系; $B$ 为时空行为。

### 2.2 时空对象行为特征

#### 2.2.1 行为的复杂性

在客观现实世界中,时空对象的行为复杂多样<sup>[12]</sup>,即便同一对象的同一行为,由于内在需求与外在环境随时间的变化而改变,其产生的行为结果也可能不同;甚至由于内在规律或环境因素的不满足,导致对象不具备相应的行为能力。因此,在时空对象行为与其产生的结果之间存在着一对多的关系,即行为产生的结果在时间序列上存在不确定性,其关系形式如图1所示。如出租车载客的过程中,在理想情况下是选择最短路线将客人送到目的地;但在现实情况中由于道路拥堵、中途载客等因素,其选择的路线会发生变化。因此,在时空对象

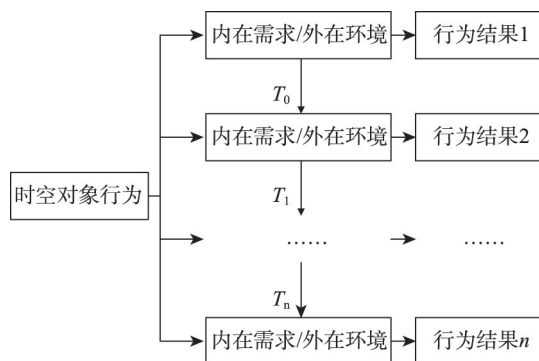


图1 对象行为与行为结果的关系

Fig.1 The relationship between the behavior of the object and behavioral results

建模中,有必要根据对象的历史状态,建立相应的行为模型来预测对象的行为结果。

### 2.2.2 行为的可继承性

根据行为参与者的数量,可以将行为分为群体行为与个体行为。而群体与个体的关系不是简单的包含与被包含的关系,而是个体之间存在相互作用,个体与群体之间存在相互依赖等关系<sup>[13]</sup>。由于对群体的定义不同,各领域对群体行为的定义也不尽相同。社会学家波普诺<sup>[14]</sup>、心理学家Homans<sup>[15]</sup>及许多生物、物理学家等都对群体行为进行了大量研究。在GIS中,群体是通过多个分别存储与表达的个体对象有机组成的。因此,本文将群体行为定义为群体中所有对象共同具备的行为,是单个对象行为的组成部分,其实施主体是群体。而个体行为是对象个体特有的行为,行为实施主体为对象个体。在具体的表达中,将群体表示为对象,个体表示为子对象;在对象中表示群体行为,子对象通过继承关系继承对象中的群体行为,并与其他子对象一起实现群体行为。

### 2.2.3 行为在时态上的延续性

在时空对象模型中,行为因导致时空对象的状态发生变化而具备时间特征,状态的因果序列构成了时空行为过程<sup>[16]</sup>。行为过程的开始与结束分别代表了行为生命周期的开始与结束。将其生命周期映射到客观世界的线性时间上,则行为在时态上展现出延续性。在基于行为驱动的时空数据模型中,时空对象的空间特征(几何形状、空间位置)、属性特征及关系等都可采用关于时间的函数或模型进行表达;如Sistla等提出的MOST(Moving Objects Spatio-Temporal)模型等<sup>[17]</sup>,将时间作为模型结构化的一部分,大大提高了时空对象的自主性。

## 3 时空对象行为分类

行为分类方式有多种,如依据行为结果可将行为分为确定性行为和非确定性行为,根据行为的作用域可将行为分为内在行为与外在行为,根据行为的实施对象可将行为分为主动行为与被动行为,根据行为参与者的数量可将行为分为个体行为与群体行为等<sup>[18]</sup>。行为具有生命周期,即在时态上具有延续性;同时,行为会带来时空对象几何、属性以及对象间关系(空间关系与非空间关系)的变化,并进一步产生语义变化,行为对时空对象的影响复杂多样。根据行为作用对象,可以将行为分为空间行为、属性行为、关系行为以及复合行为4类。

### 3.1 空间行为

时空对象的空间特征包括空间位置、几何形状、空间姿态及空间关系等,空间行为只改变多粒度时空对象的空间特征,不改变时空对象的属性、关联关系等,空间位置采用时空对象的三维中心点或者质点等进行描述,空间行为对空间位置的改变可以表示为位置关于时间的函数或者采样。而对于行为引起时空对象的几何形状变化,则需要根据时空对象的具体状态进行分别表达。空间姿态则可以采用时空对象与空间参照系各坐标轴之间的夹角进行描述,时空对象在空间中的运动行为,往往会引起空间姿态的变化。时空对象间的拓扑关系往往伴随着对象空间位置、几何形状或姿态的变化,对于拓扑表达模型,则需要实时更新时空对象的拓扑关系,而对于对象存储模型,可以采用集合运算求解空间关系。

### 3.2 属性行为

属性行为改变的时空对象的属性,包括属性字段、属性值、属性类型等,引起属性变化。属性行为触发对时空对象属性信息的增加、更新、查询、删除等事件或操作,并对时空对象的属性信息进行操作与分析,如地籍斑块的权属与用途信息等的变更。属性行为的触发因子包括时空对象受外在环境影响而产生的属性变化(如气温变化等),还包括时空对象的内部变化而引起的属性变化。

### 3.3 关系行为

关系行为则改变2个或者2个以上时空对象间的关系,时空对象间的关系包括继承关系、组成关



系、连接关系、因果关系、认知关系等。时空对象间的关联关系随着时空对象属性特征、空间特征、场景、观测维度及对象生成与消亡等发生关系建立、关系变化及关系消亡等基本关系行为。其中,关系变化包括关系强度、关系类型等的变化;如随着距离增大,空间对象间的相关关系则会逐渐降低。

### 3.4 复合行为

复合行为可看作空间行为、属性行为及关系行为的耦合,即一个行为可以同时触发多个事件,并导致对象的空间位置、属性或者关系发生变化。复合行为以行为分解的方式来表示时空对象的确定性行为、非确定性行为、智能行为或反应性行为等,而这些行为可进一步分解为空间行为、属性行为或关系行为。即便是智能体,其智能行为也是基于算法的自学习、自组织、自记忆等特征实现的,算法运行结果的最终外在表现也是智能体的空间位置、属性或对象间关系的改变。

但在时空本体中,复合行为是空间行为、属性行为与关系行为之间的有限次耦合,用于表达时空对象的本质特征。如对于飞行器,根据其与地球的距离关系及其空间运动行为,可进一步分为航空器、航天器及深空探测器等。

## 4 行为的形式化表达

由于面向对象的时空数据模型必须在以时空本体为基础的统一构模框架下实现<sup>[19]</sup>。徐薇等将时空本体表示为由时空对象、有限的状态、邻居和时空过程等组成的四元组<sup>[20]</sup>,行为引起时空对象状态的更新,状态改变的因果序列即为时空过程;因此,时空过程的根本驱动因子是时空行为。本文将时空行为作为时空本体的内涵之一予以研究,并给出时空对象的行为(空间行为、属性行为、关系行为、复合行为)、行为能力(包括空间行为能力、属性行为能力、关系行为能力及复合行为能力)的形式化表达方式。

对象的每一类行为构成集合,全体集合构成簇(family of set),用符号 $\mathfrak{s}$ 表示。首先,时空对象的行为是一种能够作用、影响自身或其他时空对象的能力,其存在依附于时空对象,即时空对象的消亡必然带来行为的消亡(但行为的结果可能依然存在)。其次,行为的实施受行为主体、作用对象、行为环境等因素影响。最后,行为的最终结果是实体

对象随时间推移而产生的状态变迁,它是实体对象内在规律和能力在外部干扰下的表现。可以对时空对象的行为进行分类与定义。

$$\mathfrak{s} = \{\text{behaviorID}, \text{behaviorType}, [\text{PARAMETERS}], [\text{RESULTS}]\} \quad (2)$$

式中: $\text{behaviorID}$ 为行为的标识符; $\text{behaviorType}$ 为行为类型,其取值为字符 $\mathfrak{s}^S$ (空间行为)、 $\mathfrak{s}^A$ (属性行为)、 $\mathfrak{s}^R$ (关系行为)或 $\mathfrak{s}^C$ (复合行为); $\text{PARAMETERS}$ 是行为的输入参数集合; $\text{RESULTS}$ 为行为的输出结果集合。

#### (1) 空间行为

$\text{PARAMETERS}$ 的值需要根据行为的类型进行具体设定。由于空间行为既可以改变多粒度时空对象的空间位置、姿态(stance),也可以改变时空对象的几何形状(object),其参数集合包括表示时空对象空间位置的 $x, y, z$ 坐标、通过对象的时空位置,可进一步推导对象空间运动的线速度 $v$ 、加速度 $a$ 、角速度 $\omega$ 、角加速度 $\varpi$ 以及姿态参数倾角 $\alpha$ 、走向 $\beta$ 、旋转角 $\gamma$ 等。 $\text{PARAMETERS}$ 的形式化表达方式为:

$$\text{PARAMETERS} = \{x, y, z, \text{object}, \text{stance}, t\} \quad (3)$$

空间行为的最终结果为时空对象空间位置、姿态及几何形状的变化。结果集 $\text{RESULTS}$ 可以为具体的运动方程、或者对时空对象姿态、几何形状做出的更新与改变。

#### (2) 属性行为

属性行为的的作用对象是时空对象的属性信息。其参数集合 $\text{PARAMETERS}$ 则可以定义为时空对象 $ID(\text{ObjectID})$ 、字段( $bfields$ )、字段类型( $bfieldTypes$ )、属性值( $bfValues$ )以及行为发生之后的字段、字段类型、属性值。则 $\text{PARAMETERS}$ 的形式化表达方式如下:

$$\text{PARAMETERS} = \{\text{ObjectID}, bfields, bfieldTypes, bfValues\} \quad (4)$$

属性行为触发的事件作为 $\text{RESULTS}$ 表示行为产生的系列结果,该事件序列会改变时空对象的属性,并进一步改变时空对象的状态。

#### (3) 关系行为

关系行为的结果是改变多个(2个或2个以上)时空对象间的空间关系、时态关系、属性关系等关系类型及关系强度。而时空对象间的关系往往采用网络图模型来表达,如式(5)所示,其表达的内容包括关系类型、关系强度等。关系行为的参数集合 $\text{PARAMETERS}$ 应该包括时空对象(Nodes)、关系类

型(Edges)、关系强度(Strength):

$$G = \langle V, E \rangle \quad (5)$$

式中:  $G$  表示关系图;  $V$  表示时空对象节点集合, 即  $V = \{Node_1, Node_2, \dots, Node_n\}$ ;  $E$  表示时空对象间的关联关系集合; 其每个元素由关系类型(Edges)与关系强度(Strength)表示。

$$PARAMETERS = \{Nodes, Edges, Strength\} \quad (6)$$

关系行为触发的事件包括关系建立事件、关系类型改变事件、关系强度改变事件及关系消亡事件等, 以  $RESULTS$  表示行为产生的系列结果。

#### (4) 复合行为

复合行为是多种行为的组合, 在现实世界中, 一个行为往往可以同时改变时空对象的空间位置、几何形状、属性及对象间的关系等。如气团受热膨胀, 其质心发生空间位移, 几何形状由小变大, 温度属性值由低变高; 随着气团空间位置的变化, 其与地物的空间关系由相离变为包含; 而这一系列的变化, 可以看成是空间行为、属性行为及关系行为的耦合。在进行复合行为建模时, 则需要以行为分解的方式进行分别建模或者采用专门的行为模拟算法。复合行为的参数集合  $PARAMETERS$  的形式化表达方式可以为:

$$PARAMETERS = \{[P^s], [P^a], [P^r]\} \quad (7)$$

式中: “[ ]” 表示该参数可以为空;  $P^s$  为空间行为参数集合;  $P^a$  为属性行为参数集合;  $P^r$  为关系行为参数集合。

时空对象的行为(空间行为、属性行为、关系行为、复合行为)会触发一个或者一系列事件, 事件是行为发生的结果。行为结果表示方法如下:

$$RESULTS = \{Event_1, Event_2, \dots, Event_n\} \quad (8)$$

## 5 行为驱动的时空对象建模

面向对象的编程思想的出现, 为时空数据建模提供了新的思路。Kallmann 等最早采用了面向对象的思想构建了基于行为驱动的时空对象模型(SmartObject)<sup>[21]</sup>, 该模型将行为表示为命令(Commands)、对象状态(State)及事件(Events)的集合, 如下式所示。但该模型只针对受用户控制的时空实体建模, 基于文本的事件触发机制限制了模型与外界的交互方式。本文在 SmartObject 的行为驱动机制基础上, 研究了时空本体中行为的驱动机制, 并采用 *behaviorType* 表示行为的命令, *PARAME-*

*TERS* 表示时空对象在  $t$  时刻的特征状态。

$$B = \{Commands, State, Events\} \quad (9)$$

SmartObject 通过匹配文本命令来搜索并执行命令, 命令是其与用户进行交互的接口。而在全空间信息系统中所描述时空实体类型复杂多样; 因此, 在时空本体中, 应定义基本时空行为驱动机制。

首先, 采用 *behaviorType* 作为行为接口, 用于接收用户命令或者时空对象模型自身发出的命令, 并根据 *behaviorID* 索引匹配具体的行为; 其次, 根据 *behaviorType* 来获取相关的参数集合 *PARAMETERS*, *PARAMETERS* 描述了时空对象的特征在当前时刻的状态; 最后, 行为触发事件执行相应的操作, 改变对象的时空特征。行为驱动机制如图2所示。

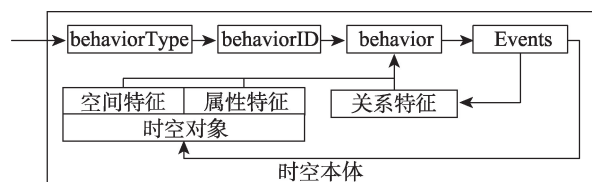


图2 行为驱动机制

Fig.2 The behavior-driven mechanism

## 6 结论

在以往的基于时空本体的时空数据建模中, 大多注重研究时空本体中的空间对象、状态及时空关系等的表达, 而对时空行为的表达研究则明显不足。首先, 对时空本体并没有统一的认识, 导致基于本体的时空数据建模大多停留在概念建模阶段; 其次, 由于对行为的认识各领域存在偏差, 导致行为分类及行为抽象等没有统一有效的方法; 最后, 基于行为的时空对象建模研究仍然只是针对某一具体应用领域, 对普适性高的基于行为驱动的时空数据模型研究尚显不足。

本文首先阐述了行为定义的定义, 将时空行为作为时空本体表达的基本要素之一, 研究了时空行为的基本特征; 扩展了时空对象在运动过程中产生的7大类变化, 并将变化作为行为结果, 依据行为结果, 将时空行为归纳为时空对象的空间行为、属性行为、关系行为及复合行为; 并且分别给出了空间行为、属性行为、关系行为及复合行为4类基本行为的形式化表达方式, 为时空本体表达时空对象的基本行为奠定理论基础。在时空对象行为形式化表达的基础上, 初步探讨了时空本体中的行为驱动机制, 认为在时空本体中, 应该只包含基本行为, 以提高时空本体的可重用性及普适性。

## 参考文献(References):

- [1] Bittner T, Donnelly M, Smith B. A spatio-temporal ontology for geographic information integration[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2009,23(6):765-798.
- [2] 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. Prospects on pan-spatial information system[J]. Progress in Geography, 2015, 34(2):129-131. ]
- [3] 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. ]
- [4] 邵黎霞,唐海燕.表示和查询人的时空分布的一个面向行为的时空数据模型设计[J].测绘通报,2007(3):30-33. [Shao L X, Tang H Y. Design of activity-based spatio-temporal data model for representation and inquirement of the human spatio-temporal distribution[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2007,3:30-33. ]
- [5] 赵莹,柴彦威,陈洁,等.时空行为数据的GIS分析方法[J].地理与地理信息科学,2009,25(5):1-5. [Zhao Y, Chai Y W, Chen J, et al. GIS-Based analyzing method for spatial-temporal behavior data[J]. Geography and Geo-Information Science, 2009,25(5):1-5. ]
- [6] Pelekis N, Theodoulidis B, Kopanakis I, et al. Literature review of spatio-temporal database models[J]. The Knowledge Engineering Review, 2004,19(3):235-274.
- [7] Lerner A Y. Optimal control[M]. Fundamentals of Cybernetics. Berlin: Springer, 1972:112-127.
- [8] 杨志谋,司光亚,李志强,等.群体行为建模理论基础与建模方法研究[J].系统仿真学报,2009,21(16):4921-4925, 4930. [Yang Z M, S G, Li Z Q, et al. Basic theory and method of crowd behavior modeling[J]. Journal of System Simulation, 2009,21(16):4921-4925,4930. ]
- [9] 苏绍勇,陈继明,潘金贵.虚拟环境中行为建模技术研究[J].计算机科学,2007,34(2):270-273. [Su S Y, Chen J M, Pan J G. Research on behavior modeling technology of virtual environment[J]. Computer Science, 2007,34(2): 270-273. ]
- [10] 舒红,陈军,史文中.时空数据模型研究综述[J].计算机科学,1998,25(6):70-74. [Shu H, Chen J, Shi W Z. Overview of spatio-temporal data models[J]. Computer Science, 1998,25(6):70-74. ]
- [11] Frank A U. Ontology for spatio-temporal databases[M]. Spatio-Temporal Databases. Berlin: Springer, 2003:9-77.
- [12] 郑援,李思昆,胡成军,等.虚拟实体对象的行为建模方法研究[J].国防科技大学学报,1998,20(1):78-82. [Zheng Y, Li S K, Hu C J, et al. Research on behavior models of virtual artifacts[J]. Journal of National University of Defense Technology, 1998,20(1):78-82. ]
- [13] 刘敏.社会发展理论的演变走向及其特征[J].甘肃社会科学,1999(3):58-62. [Liu M. The evolution of the social development theory and its characteristics[J]. Gansu Social Sciences, 1999,3:58-62. ]
- [14] 波普诺.社会学[M].沈阳:辽宁人民出版社,1987. [David Popenoe. Sociology[M]. Shenyang: Liaoning People's Publishing House, 1987. ]
- [15] Homans G C. Social behavior: Its elementary forms[M]. Newyork: Westdeutscher Verlag & Köln und Opladen, 1974.
- [16] 牛方曲,朱德海,程昌秀.改进基于事件的时空数据模型[J].地球信息科学,2006,8(3):104-108. [Niu F Q, Zhu D H, Cheng C X. The improved event-based spatio-temporal data model[J]. Geo-Information Science, 2006,8(3): 104-108. ]
- [17] Sistla A P, Wolfson O, Chamberlain S, et al. Modeling and querying moving objects[C]. ICDE. 1997,97:422-432.
- [18] 廖守亿,戴金海.形式化研究基于Agent的行为建模及应用[J].计算机仿真,2006,23(4):54-59,73. [Liao S Y, Dai J H. Formal research on agent-based behavior modeling and application[J]. Computer Simulation, 2006,23(4):54-59,73. ]
- [19] Peuquet D J. Making space for time: Issues in space-time data representation[J]. GeoInformatica, 2001,5(1):11-32.
- [20] 徐薇,黄厚宽,秦勇.时空本体研究及在地理信息系统中的应用[J].铁道学报,2005,27(4):119-124. [Xu W, Huang H K, Qin Y. Research on spatio-temporal ontology and its application in geographic information system[J]. Journal of the China Railway Society, 2005,27(4):119-124. ]
- [21] Kallmann M, Thalmann D. Modeling objects for interaction tasks[M]. Computer Animation and Simulation' 98. Vienna: Springer, 1999:73-86.