

空间实体的时态属性时间语义 特征及代数表达框架

刘岳峰¹ 杨忠智¹ 孙希龄¹ 司若辰¹

(1 北京大学遥感与地理信息系统研究所,空间信息集成与 3S 工程应用北京市重点实验室,北京市颐和园路 5 号,100871)

摘要:基于代数方法,建立了空间实体的时态属性与时间之间的函数关系——时态属性函数。分别从自变量、定义域、函数关系以及函数值四个方面对时态属性的时间语义特征进行了研究,并给出了时间语义特征的代数描述、分类和定义。在此基础上,提出了 20 种时态属性的时间特征类型,为进一步实现时态属性数据建模,研究时态属性操作,查询语言以及时态属性在时态 GIS 中的表达奠定了良好的基础。

关键词:时间语义特征;代数框架;时态 GIS

中图法分类号:P208

空间特征、时间特征和属性特征是空间实体的 3 个基本特征。空间特征与属性特征随时间变化的空间实体称为时空对象。时态地理信息系统(TGIS)是对时空对象的空间、时间和属性特征数据进行管理、处理、分析和表达的地理信息系统。由于时态 GIS 可以对历史、现状和将来的空间数据(如土地规划数据)和属性数据进行综合管理,并在此基础上进行历史分析、过程模拟以及趋势预测等时空分析,在土地利用、地籍管理、交通等领域正受到越来越多的重视。

由于时态 GIS 相比传统的静态 GIS 增加了对时间维的支持,无论在数据建模、数据分析和数据表达等方面均大大增加了复杂性。对于数据模型的研究主要集中在时空数据(随时间变化的空间数据)模型^[1-6]和时态属性数据模型两个方面,而对时空数据模型的研究最为热门。

在时态 GIS 中,空间实体随时间变化的属性称为时态属性。时态属性数据模型研究亦是时态 GIS 数据模型研究的重要方面,其中对于时间语义特征的研究和建模是数据模型的重要内容。目前对于时态属性数据模型相关的研究主要集中在以下几个领域内。

在人工智能领域,研究者们主要致力于利用不同类型的时间实体或者时间命题对现实世界建模,包括特征、事件以及过程等^[7]。然而,目前还

没有达到将这些概念整合到数据库管理系统的数据模型和查询语言中^[8]。时态数据库研究领域是对时间数据和时态属性研究较为充分的领域。研究内容主要分为时态语义、时态操作和时态查询等方面^[9-14],研究手段大多采用代数框架。在时态语义研究方面,从最初的基于时间点(point-based)的时间语义发展到基于时间点和基于时间段(interval-based)的两种时间语义类型^[10,14-15],在此基础上,研究和建立了相关的时态操作语言和时态查询语言^[9,12]。在 GIS 领域,由于属性是空间实体的 3 大特征之一,因此,学者们对时态属性的研究与应用实践亦十分重视。近二、三十年来,在空间数据的时态模型(时空数据模型)的理论研究方面取得了一定的进展^[1-6]。而对于空间实体的时态属性的研究,则主要集中在:①如何利用现有关系型数据库实现时态属性数据的管理、查询(包括历史回溯)及表达方面^[16-25],其中部分研究涉及了时间语义;②时态属性的数据建模^[20,22];③从地理现象和过程的角度研究地理时空语义特征^[26-27],其中涉及时态属性的时间语义特征。

本文面向时空数据库,研究空间实体时态属性的时间语义特征。采用代数方法,基于时态属性函数,分别描述和定义了自变量、定义域、函数关系和函数值的时间语义特征。在此基础上,对

收稿日期:2013-03-18。

项目来源:国家 863 计划资助项目(2009AA12Z217)。

时态属性的时间语义特征进行分类,目的是为进一步研究时态属性的时态操作、时态查询以及最终在时态 GIS 中的表达奠定基础。

1 时态属性的时间语义特征代数框架

1.1 说明

在论述时态属性的时间语义特征之前,先说明有关约定。

1) 时间的表示。 T 泛指时间基元,无论其类型为时间点或者时间段; t 为时间点; $\{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ 为有限时间点的集合; $I = [t_1, t_2]$ 为时间段,为了统一,后文中均采用前闭后开的区间表示时间段; $\{I_1, I_2, \dots, I_n\}$ 为有限时间段的集合; D^T 为时间域,可以是单一时间点、有限时间点的集合或单一时间段、有限时间段的集合中的一种。

2) 与时间操作有关的概念

① 时间分割

对于时间段 I ,采用给定的有限时间点的集合 $\{t_i | t_i \in I \wedge t_i < t_{i+1}\}$ 将时间段 I 分割为有限时间段的集合,各子段之间既没有重叠,也没有缝隙。分割后的结果既可以表示为时间段的集合 $\{I_i\}$,也可以表示为时间点的集合 $\{t_i\}$ 。

② 时间分割的映射

设两个时间段 I_1 和 I_2 ,并且 $I_2 \subseteq I_1$,现有 I_1 的时间分割 $\{t_{1i}\}$,提取 $\{t_{1i}\}$ 中所有属于 I_2 的时间点 $\{t_{1j}\}$,用 $\{t_{1j}\}$ 对 I_2 进行分割得到 I_2 的时间分割,称 I_2 的时间分割为 I_1 的时间分割在 I_2 上的映射(图 1)。

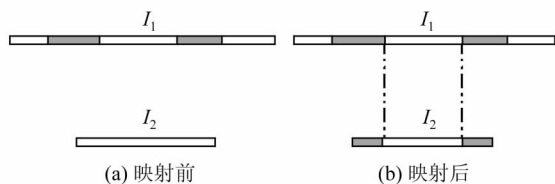


图 1 时间分割的映射示意图

Fig. 1 Sketch Map for Mapping of Time Sections

3) 空间实体和属性的表示

在时态 GIS 中,空间实体具有生命周期,本文不考虑空间实体的生命重生或轮回,即空间实体的生命周期在时间轴上以生命开始时刻和生命结束时刻所代表的单一时间区间(时间段)表示,并采用以下符号表达空间实体及有关的概念: x 为空间实体, X 为空间实体的集合。需要设定一个前提,即在任意时间点上至少有一个空间实体

存在,这样做的目的是为了数学定义更加严格,而不影响实际应用。LIFE 为空间实体的生命周期;LIFE. Start(或者 LIFE. S)为生命周期的开始时刻;LIFE. End(或者 LIFE. E)为生命周期的结束时刻; x . LIFE 为空间实体 x 的生命周期; X . period 为包含 X 内所有空间实体的生命周期的最小时间跨度; A 为属性 A ,本文基于以下前提:属性 A 的定义对于任意空间实体 $x \in X$ 均适用。 x . A 为 x 的属性 A 。

1.2 时态属性函数

对于任意的 x . A ,称下列表达式为空间实体 x 的属性 A 的时态函数,简称 x . A 的时态函数(或时态属性函数)。

$$x.A = f_{x,A}(T), T \in D^{T,x,A} \quad (1)$$

式中,自变量 T 既可以是时间点,也可以是时间段。如果是时间点,则表示为:

$$x.A:p = f_{x,A}(t), t \in D_{x,A}^T \quad (2)$$

式中, $x.A:p$ 表示 x 的基于时间点的属性 A 。如果是时间段,则表示为:

$$x.A:i = f_{x,A}(I), I \in D_{x,A}^T \quad (3)$$

式中, $x.A:i$ 表示 x 的基于时间段的属性 A 。

本文从时态属性函数的自变量语义特征、定义域语义特征、函数关系语义特征以及函数值语义特征等 4 个方面构建时间语义特征框架。并在上述 4 类语义特征的基础上进行分类,分类结果见表 1。图 2 和图 3 以示意图的形式表示了各种类型的时间语义特征。

1.3 时间语义特征的代数表达

以下除了代数中已有的定义外,对表 1 中其他所有时间语义特征的概念进行代数定义。

1) 自变量的时间语义特征

根据前文分析,借鉴时态数据库研究领域对时态数据的语义特征划分方式,分为基于时间点(自变量为时间点)和基于时间段(自变量为时间段)的。

2) 定义域的时间语义特征

① “持续”和“非持续”

针对自变量为时间点的属性函数而言的。这两个概念反映的是属性在生命周期内是否始终有意义。定义如下:

定义 1 “持续”

对于任意的空间实体 x , $x.A:p = f_{x,A}(t)$ 的定义域必须为 x . LIFE,则称 A 的定义域的时间语义特征为“持续”。

定义 2 “非持续”

对于任意的空间实体 x , $x.A:p = f_{x,A}(t)$

的定义域允许小于 x . LIFE 且必须为 x . LIFE 的子区间的集合, 则称 A 的定义域的时间语义特征为“非持续”(如此定义是为了不将定义域为离散时间点的集合的情况包含在内)。

②“分段”、“固定分段”和“非固定分段”

针对“持续”与“非持续”属性函数而言的。定义如下:

定义 3 “分段”

对于任意的空间实体 $x, x.A: p = f_{x,A}(t)$ 允许在 x . LIFE 内不连续但必须在子段内连续。则称 A 的定义域的时间语义特征为“分段”。

定义 4 “固定分段”

如果 A 为分段属性(见上述“分段”的定义), 给定 X . period 内的一个时间分割 $\{I_i\}$, 对于任意

表 1 时态属性的时间语义特征分类

Tab. 1 Classification of Temporal Semantic Characteristics for Temporal Attributes

自变量语义特征	定义域语义特征	函数语义特征	值语义特征	属性的时间语义特征
时间点	持续	连续	常数	①持续常数(静态)
			非常数	②持续非常数
	持续固定分段	分段连续	段内常数	③持续固定分段常数
			段内非常数	④持续固定分段非常数
	持续非固定分段	分段连续	段内常数	⑤持续非固定分段常数
			段内非常数	⑥持续非固定分段非常数
	非持续固定分段	分段连续	段内常数	⑦非持续固定分段常数
			段内非常数	⑧非持续固定分段非常数
	非持续非固定分段	分段连续	段内常数	⑨非持续非固定分段常数
			段内非常数	⑩非持续非固定分段非常数
时间段	固定有限点	离散	点上唯一值	⑪固定有限点
	非固定有限点	离散	点上唯一值	⑫非固定有限点
	有序固定	塑性	塑性值	⑬有序固定塑性
		刚性	刚性值	⑭有序固定刚性
	有序非固定	塑性	塑性值	⑮有序非固定塑性
		刚性	刚性值	⑯有序非固定刚性
	非有序固定	塑性	塑性值	⑰非有序固定塑性
		刚性	刚性值	⑱非有序固定刚性
	非有序非固定	塑性	塑性值	⑲非有序非固定塑性
		刚性	刚性值	⑳非有序非固定刚性

的空间实体 $x, x.A: p = f_{x,A}(t)$ 的分段必须为 $\{I_i\}$ 在 x . LIFE 上的映射, 则称 A 的定义域的时间语义特征为“固定分段”。

定义 5 “非固定分段”

如果 A 为分段属性, 对于任意的空间实体 x , 允许 $x.A: p = f_{x,A}(t)$ 的分段不是同一时间分割 $\{I_i\}$ 在 x . LIFE 上的映射, 则称 A 的定义域的时间语义特征为“非固定分段”。

③“有限点”、“固定有限点”和“非固定有限点”

针对自变量为时间点的属性函数而言的。定义如下:

定义 6 “有限点”

对于任意的空间实体 $x, x.A: p = f_{x,A}(t)$ 的定义域必须为 x . LIFE 内的有限点的集合(可以为空), 则称 A 的定义域的时间语义特征为“有限点”。

定义 7 “固定有限点”

如果 A 为有限点属性(见上述“有限点”的定义), 给定 X . period 内的一个时间分割 $\{I_i\}$, 对于

任意的空间实体 $x, x.A: p = f_{x,A}(t)$ 的定义域为 $\{t_i\}$ 在 x . LIFE 内的映射, 则称 A 的定义域的时间语义特征为“固定有限点”。

定义 8 “非固定有限点”

如果 A 为有限点属性, 对于任意的空间实体 x , 允许 $x.A: p = f_{x,A}(t)$ 的定义域不是同一时间分割 $\{t_i\}$ 在 x . LIFE 上的映射, 则称 A 的定义域的时间语义特征为“非固定有限点”。

④“有序”和“非有序”

针对自变量为时间段的属性函数而言的。定义如下:

定义 9 “有序”

对于任意的空间实体 $x, x.A: i = f_{x,A}(I)$ 的定义域必须为 x . LIFE 的一个时间分割, 则称 A 的定义域的时间语义特征为“有序”。表示定义域中所有时间段首尾相连, 既不重叠, 也无缝隙。

定义 10 “非有序”

对于任意的空间实体 x , 若 $x.A: i = f_{x,A}(I)$ 的定义域不是 x . LIFE 的时间分割, 则称 A 的定义域的时间语义特征为“非有序”。

⑤ “固定”和“非固定”

定义 11 “固定”

给定 X . period 内的一个时间分割 $\{I_i\}$, 对于任意的空间实体 $x, x.A: i = f_{x,A}(I)$ 的定义域必须是 $\{I_i\}$ 在 x . LIFE 上的映射, 则称 A 的定义域的时间语义特征为“固定”。

定义 12 “非固定”

对于任意的空间实体 x , 若 $x.A: i = f_{x,A}(I)$ 的定义域不是同一时间分割 $\{I_i\}$ 在 x . LIFE 上的映射, 则称 A 的定义域的时间语义特征为“非固定”。

3) 函数关系语义特征

⑥ “连续”、“分段连续”、“离散”

针对自变量为时间点的属性函数而言的, 完全采用数学定义, 本文不再作定义。

⑦ “塑性”和“刚性”; 针对自变量为时间段的属性函数而言的。

定义 13 “塑性”

对于任意的空间实体 x , 假设 $x.A: i =$

$f_{x,A}(I)$ 的定义域为 $\{I_i\}$ (无论有序或非有序, 无论固定或非固定), 对定义域内任意的时间段 I_i , 属性 A 在 I_i 的任意子段 (理论上可以无穷小, 实际应用中需要定义最小区间) 上具有值 (具有意义), 则称 A 的函数语义特征为“塑性”。

定义 14 “刚性”

对于任意的空间实体 x , 假设 $x.A: i = f_{x,A}(I)$ 的定义域为 $\{I_i\}$ (无论有序或非有序, 无论固定或非固定), 对定义域内任意的时间段 I_i , 属性 A 只在 I_i 上有值 (具有意义), 而在其任意子段上均无值 (无意义), 则称 A 的函数语义特征为“刚性”。

4) 值语义

⑧ “塑性值”与“刚性值”

如果函数关系语义特征为“塑性”, 则对应的函数值语义特征为“塑性值”; 如果函数关系语义特征为“刚性”, 则对应的函数值语义特征为“刚性值”。

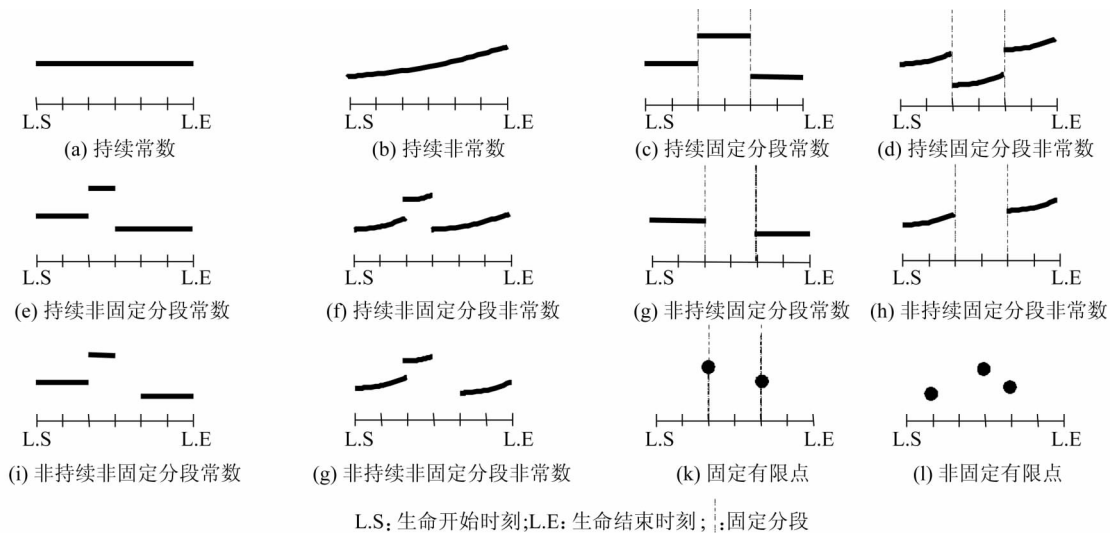


图 2 基于时间点的时态属性的时间语义特征示意图

Fig. 2 Sketch Map for the Temporal Semantic Characteristics of Point-based Temporal Attributes

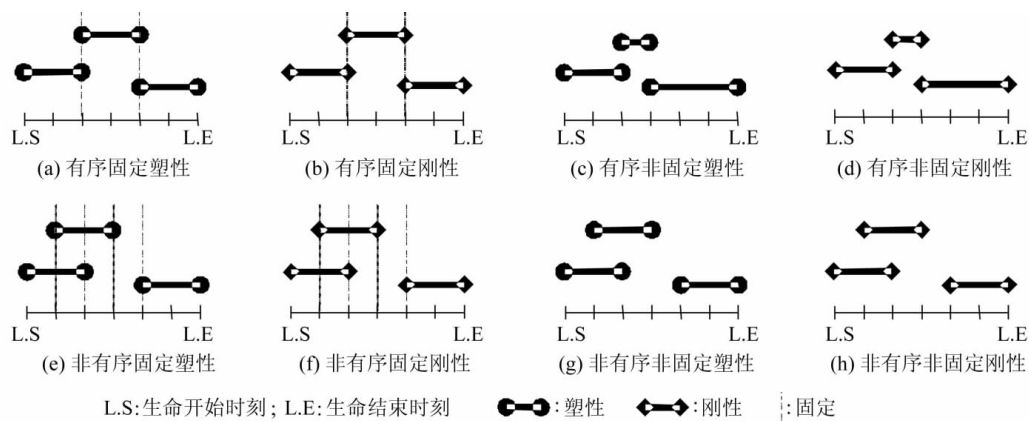


图 3 基于时间段的时态属性的时间语义特征示意图

Fig. 3 Sketch Map for the Temporal Semantic Characteristics of Interval-based Temporal Attributes

2 举例说明

为了给读者较为直观的理解,表 2 列出了部

分属性的时间语义特征类型的例子及说明。表中第 1 列为空间实体的类型,第 2 列为空间实体的某种属性,第 3 列为对应属性的时间语义特征类型,第 4 列为部分解释与说明。

表 2 时态属性的时间语义特征举例
Tab. 2 Samples of Temporal Semantic Characteristics for Temporal Attributes

空间实体	属性	时间语义特征类型	说明
行政区	名称	①持续常数(静态) ⑤持续非固定分段常数	在数据库时间跨度内,如果所有行政区的名称没有发生变化,则定义为①,否则为⑤
	人口数量	②持续非常数	人口数量在任意时间点上均有意义,并且连续变化。
	税收年度计划完成率	④持续固定分段非常数	在 1 个年度内是连续变化的,但年度之间是不连续的(固定分段),属于具有固定周期的属性。
	GDP	⑪有序固定刚性	所有行政区的 GDP 均按年度划分,并且不能提取子段的 GDP 值。
潮汐站	高潮位	⑫非固定有限点	只在有限的时间点上出现高潮位。不同的潮汐站,高潮位发生的时间点是不一致的。
城市	友好城市名称	⑨非持续非固定分段常数	并不是任何时间点都有友好城市,并且各城市具有友好城市的时间段不一致。
景点	门票价格	⑤持续非固定分段常数	各景点门票价格的变动时间不一致。
景点	节假日门票收入	⑬非有序固定塑性	需要前提:对于所有景点,节假日的划分是一致的。
	旺季门票收入	⑭非有序非固定塑性	不同的景点,旺季的划分是不一致的。

3 结 语

本文通过对空间实体的时态属性的分析研究,以时态属性函数为主体,分别从自变量、定义域、函数关系以及函数值等 4 个方面对时态属性的时间语义特征进行了研究,建立了时态属性的时间语义特征的代数框架,为时态属性时间语义特征的研究提供了思路和方法,也为进一步研究时态属性的数据模型、时态操作语言、时态查询语言以及在时态 GIS 中的表达等方面奠定了良好的基础。

本文建立的时间语义代数框架,并不能包含时间语义的所有特征,如部分类型还可以进一步划分出子类型。因此,一方面关于时态属性的时间语义特征值得进一步深入研究;另一方面,基于时间语义特征框架的数据模型、数据操作和查询以及表达是今后时态 GIS 关于时态属性的重要研究方向,将另文论述。

参 考 文 献

[1] Langran G. Time in Geographic Information Systems[M]. London: Taylor& Francis Ltd. , 1992

[2] Peuquet D J, Duna N. An Event-based Spatiotemporal Data Model(ESTDM) for Temporal Analysis of Geographical Data[J]. International Journal of Geographic Information System, 1995, 9:7-24

[3] Peuquet D J, Wentz E. An Approach for Time-based Analysis of Spatiotemporal Data[C]. The 6th

International Symposium on Spatial Data Handling, London, 1994

[4] Yuan M. Wildfire Conceptual Modeling for Building GIS Space-time Models[C]. Proceedings of GIS/LIS'94, Phoenix, 1994

[5] Worboys M. Object-Oriented Models of Spatiotemporal Information[C]. Proceedings of GIS/LIS'92, San Jose, 1992

[6] Pigot S, Hazelton B. The Fundamentals of a Topological Model for a 4-dimensional GIS[C]. Proceedings of the Fifth International Symposium on Spatial Data Handling, Charleston, 1992

[7] Allen J F. Towards a General Theory of Action and Time[J]. Artificial Intelligence, 1984,23(2):123-154

[8] Böhlen M, Gamper J, Jensen C S. An Algebraic Framework for Temporal Attribute Characteristics [J]. Annals of Mathematics and Artificial Intelligence, 2006, 46:249-374

[9] Böhlen M H, Jensen C S. Temporal Data Model and Query Language Concepts[J]. Encyclopedia of Information System, 2003, 4:437-453

[10] Böhlen M H, Busatto R, Jensen C S. Point-Versus Interval Based Temporal Data Models[C]. Proceedings of the 14th International Conference on Data Engineering, Orlando,Florida, 1998

[11] Gabbay D, McBrien P. Temporal Logic & Historical Databases[C]. Proceedings of the 17th International Conference on Very Large Databases, Barcelona, Catalonia, Spain, 1991

[12] Gadia S K. A Homogeneous Relational Model and

- Query Languages for Temporal Databases [J]. ACM Transactions on Database System, 1988, 13(4):418-448
- [13] Kowalski R, Sergot M. A logic-based Calculus of Events[J]. New Generation Computing, 1986, 4(1):67-95
- [14] Terenziani P, Snodgrass R T. Reconciling Point-based and Interval-based Semantics in Temporal Relational Database: A Treatment of the Telic/atelic Distinction[J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2004, 16(5):540-551
- [15] Toman D. Point-based vs Interval-based Temporal Query Languages [C]. Proceedings of the 15th ACM Symposium on Principles of Database System, Montreal, Canada, 1996
- [16] Vitit Kantabutra J B, Owens J, Ames D P, et al. Using the Newly-created ILE DBMS to Better Represent Temporal and Historical GIS Data [J]. Transactions in GIS, 2010, 14(s1): 39-58
- [17] 陈军, 陈尚超, 唐治锋. 用非第一范式关系表达 GIS 时态属性数据[J]. 武汉测绘科技大学学报, 1995, 20(1):12-17
- [18] 谢传节, 王金庄, 刘军伟. 用历史数据库实现对 GIS 时态属性的管理[J]. 测绘工程, 1997, 6(3):31-34
- [19] 罗年学, 潘正风. 动态地籍信息系统中时态地籍数据库的研究[J]. 测绘通报, 2002(2):45-47
- [20] 徐志红, 边馥苓, 陈江平. 基于事件语义的时态 GIS 模型[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2002, 27(3):311-315
- [21] 郭鹏, 陈晓玲. GIS-T 中时空动态分段及其对交通事件的表达[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2008, 33(4): 422-425
- [22] 张山山, 边馥苓. 面向对象的 3 级结构时空数据模型[J]. 计算机应用, 2003, 23(11):29-35
- [23] 边馥苓, 张燕江. 基于空间查询的历史数据回溯[J]. 测绘与空间地理信息, 2004, 27(3):3-6
- [24] 李清泉, 杨必胜, 郑年波. 时空一体化 GIS-T 数据模型与应用方法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2007, 32(11): 1 034-1 041
- [25] 兰小机, 胡川. 基于时间语义的地籍管理信息系统数据组织与实现[J]. 测绘科学, 2008, 33(6):163-165
- [26] 舒红. 整体地理时空语义[J]. 黑龙江工程学院学报, 2006, 20(4):10-13
- [27] 谢炯, 薛存金, 张丰. 时态 GIS 的面向过程语义与 HAS 表达框架[J]. 地理与地理信息科学, 2011, 27(4):1-7

第一作者简介: 刘岳峰, 博士, 副教授, 主要从事时态 GIS、位置服务、交通地理信息系方面的研究。

E-mail: yuefengliu@pku.edu.cn

Temporal Semantic Characteristics of Spatial Entities' Attributes and an Algebraic Framework

LIU Yuefeng¹ YANG Zhongzhi¹ SUN Xiling¹ SI Ruochen¹

(1 Institute of Remote Sensing and Geographic Information System, Beijing Key Lab of Spatial Information Integration and 3S Application, Peking University, 5 Yiheyuan Road, Beijing 100871, China)

Abstract: Spatial, temporal and attributive characters are the three basic characters of spatial entities. Temporal attributes change over time. Research and Modeling on temporal attributes' temporal semantics are important in spatiotemporal data modeling field. In this paper, in the form of algebraic relation, an attributive function is proposed, based on which, the temporal semantics of independent variable, domain of definition, function's relation and function's value are analyzed, and the algebraic descriptions, definitions and classifications of them are presented. At last, a classification with 20 types of temporal attributes are motivated which is able to offer advanced support for data modeling on temporal attributes, research on operation and query language, and presentation techniques in temporal geographical information system(TGIS).

Key words: temporal semantics characteristics; algebraic framework; temporal GIS

About the first author: LIU Yuefeng, Ph. D, associate professor. He research Interests include temporal GIS(TGIS), location based service (LBS) and GIS for Transportation(GIS-T).

E-mail: yuefengliu@pku.edu.cn