

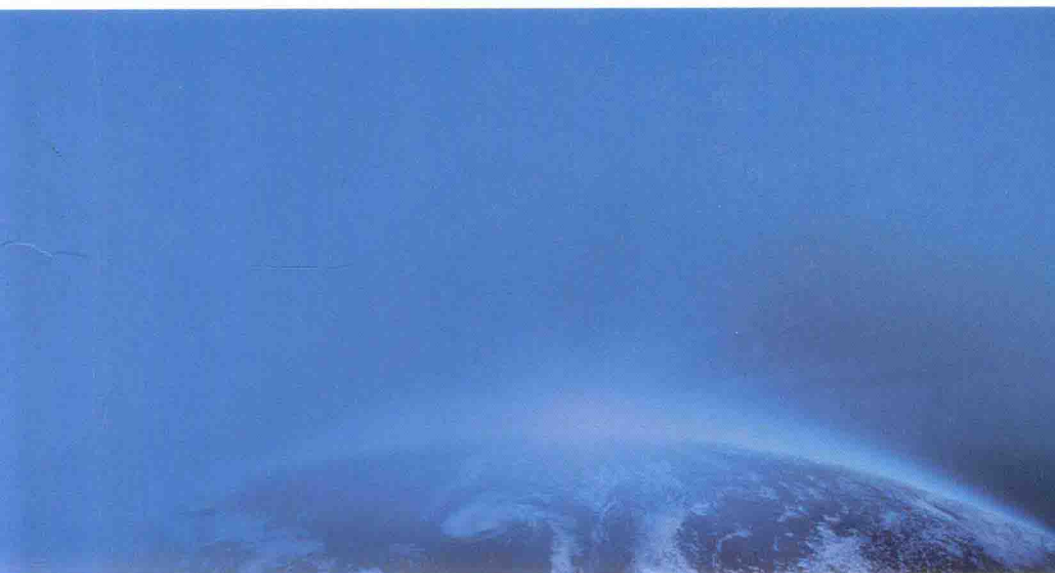
◎ 国家自然科学基金青年项目 (41301420) 资助

◎ 湖南科技大学学术著作出版基金资助

基于地理对象—事件—过程的 时空数据建模与分析：理论与方法

Research of the OEP-Based Spatiotemporal Data Model
and its Analytic Model: Theory and Method

◎ 陈新保 著



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

◎ 国家自然科学基金青年项目(41301420)资助

◎ 湖南科技大学学术著作出版基金资助

基于地理对象—事件—过程的 时空数据建模与分析：理论与方法

Research of the OEP-Based Spatiotemporal Data Model
and its Analytic Model: Theory and Method



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

基于地理对象—事件—过程的时空数据建模与分析: 理论与方法 / 陈新保著. —西安: 西安交通大学出版社, 2017. 5

ISBN 978-7-5605-9700-3

I. ①基… II. ①陈… III. ①地理信息系统—系统建模—研究
IV. ①P208.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 115267 号

书 名 基于地理对象—事件—过程的时空数据建模与分析: 理论与方法
著 者 陈新保
责任编辑 魏 杰 贺彦峰

出版发行 西安交通大学出版社
(西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)
网 址 <http://www.xjtpress.com>
电 话 (029) 82668357 82667874 (发行中心)
(029) 82668315 (总编办)
传 真 (029) 82668280
印 刷 长沙市宏发印刷有限公司

开 本 880mm×1230mm 1/32 印张 7 字数 203 千字
版次印次 2017 年 5 月第 1 版 2017 年 5 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5605-9700-3
定 价 68.00 元

读者购书、书店添货、如发现印装质量问题, 请与本社发行中心联系、调换。

版权所有, 侵权必究



前 言

时空数据模型是时态地理信息系统的核心内容，是时空数据实现计算机容量性存储和高效性管理的基础，更是面向高级时空分析能探寻地理现象和事物时变规律的前提。目前，主流时空数据模型主要面向数据的高效存储和检索，而缺乏面向该数据模型的时空分析应用考虑。这导致数据模型与其时空分析和应用脱节。现有时空数据模型缺乏对内在关联机制的描述和表达，而这种机制响应了时变，是探寻时变规律的基础。时空数据模型的最终目的是时空分析，而探寻时变规律是时空分析的最高级实践。

因此，时空数据构模应在构建时间维和空间维的同时，核心描述和表达这种时变响应机制：着重表达时变进程中的时序关系和时空因果链；着重考虑整体进程描述与内部个体关联描述的有机结合。

本书以面向时变特征的地理事物和现象为研究对象,提出一种较基础的时空数据模型,能描述时变的内在机制;并以此为基础构建其语义概念模型和逻辑模型。在该模型的基础上,着重扩展其面向高层次的时空分析,用以增强和拓宽模型应用能力。

本书第1章为研究基础和问题(绪论),主要论述时态地理信息系统(TGIS)及主流时空数据模型的研究现状,阐述了它们的问题所在。

第2章为模型理论基础,主要对时空变化语义进行评述,提出描述时变语义的“三论”框架和表达时变语义的“粒度理论”抉择时变信息过程,并对它们进行理论和方法阐释。

第3章为模型研究,针对现有模型未整体性考虑动态的地理现象和事物,构建较完备和通用型的基础时空数据模型——OEP模型。该章为本书的核心部分。

第4章主要从时空数据的结构和组织来验证OEP模型的功效性:较强的语义查询和因子分析模型。

第5章和第6章探讨传统空间数据模型映射于OEP模型的分析,主要针对传统空间数据模型下的“空间关系”。其中,第5章主要研究OEP模型的内部构件关联性,搭建由空间几何对象表达的“地理对象”与“地理事件”的关联,进而可推导“地理过程”,由此构建RAE模型。第6章主要针对“空间关系”的多类性,探讨“多元”关联组合模式及其求解算法。

最后,第7章对本书的研究工作进行总结和归纳,指出主要的研究成果和研究创新点,探讨了研究工作的不足,并对未来进一步研究问题进行了分析和展望。

由于作者水平有限,书中难免存在不妥之处,热切希望本书的读者提出批评和建议。



目 录

第1章 绪论	1
1.1 时态地理信息系统简述	1
1.2 时空数据模型的论述	4
1.2.1 侧重状态描述的时空数据模型	5
1.2.2 侧重过程描述和因果分析的时空数据模型	9
1.2.3 侧重时空对象及其关系描述的时空数据模型	14
1.2.4 时空数据模型的评述：扩展与关联	21
1.3 时态 GIS 和时空数据构模的挑战	24
1.3.1 缺乏健壮的时空变化机制的地理语义描述	24
1.3.2 缺乏较为完备的通用型基础时空数据模型	25
1.3.3 缺乏基于时空数据模型的面向高层次的时空分析探讨	26
1.4 本书研究内容及构架	26
1.4.1 研究内容	26
1.4.2 本书构架	29

1.5 本章小结	31
第 2 章 时空变化语义认知理论	33
2.1 时空变化语义结构	33
2.1.1 时空变化语义评述	33
2.2.2 新时空语义认知阐述	35
2.2 粒度理论	40
2.2.1 粒度认知过程	40
2.2.2 粒度的时空特性	41
2.2.3 粒度的功用性	41
2.2.4 粒度的抉择	42
2.3 本章小结	43
第 3 章 OEP 模型的概念和逻辑构模	45
3.1 引言	45
3.2 OEP 概念构模	46
3.2.1 概念模型	46
3.2.2 概念解析	47
3.2.3 关系梳理	50
3.2.4 关系解义	52
3.2.5 OEP 模型的“粒”性	56
3.2.6 OEP 模型与主流基础时空数据模型	57
3.3 OEP 逻辑构模	58
3.3.1 解决映射问题的思路	58
3.3.2 基于特征的逻辑模型	59
3.4 本章小结	60

第 4 章 面向时变特征语义的 OEP 构模	63
4.1 引言	63
4.2 面向时变语义的 OEP 逻辑模型和物理模型	65
4.2.1 时空逻辑谓词	65
4.2.2 特征对象的逻辑描述	67
4.2.3 特征事件的逻辑描述	70
4.2.4 特征过程的逻辑描述	71
4.2.5 逻辑模型的图论表达	72
4.2.6 逻辑模型的元组表达	73
4.3 模型应用：基于海冰变化特征的 OEP 构模	74
4.3.1 海冰特征本体模型	74
4.3.2 海冰特征本体元组	76
4.3.3 请求及增强型语义查询	77
4.3.4 对比其他海冰数据模型	81
4.4 因子模型与定性分析：海浮冰应用	82
4.4.1 基于 OEP 模型的海浮冰因子数据模型	82
4.4.2 海浮冰体因子定性分析模型	87
4.4.3 因子定性分析模型的适应性	89
4.5 本章小结	89
第 5 章 区域连续时变定性分析模型：RAE 模型	91
5.1 引言	91
5.2 区域时变模型：ROD 模型	93
5.2.1 RCC 理论及其概念邻域图	93
5.2.2 区域时变模型	94
5.3 区域时变模型与事件模型的关联：RAE 模型	98
5.3.1 “位移”和“形变”事件模型	98
5.3.2 “位移 形变”与“拓扑 方位时变”的关联	99

5.3.3 区域对象的“时变拓扑 方位”透析“事件类”	99
5.3.4 “事件类”概念邻域图	101
5.4 HMM _{RAE} 模型	102
5.4.1 HMM _{RAE} 模型构建	102
5.4.2 HMM _{RAE} 转移概率和输出概率	103
5.4.3 HMM _{RAE} 功用	105
5.5 RAE 模型与 OEP 模型	107
5.6 RAE 模型应用探讨：时空数据库自动更新问题	108
5.7 实例示证：热带气旋的时空数据分析	109
5.7.1 数据特征	109
5.7.2 数据预定义	110
5.7.3 数据资料和预处理	112
5.7.4 统计方法	113
5.7.5 TC 路径规律探寻	113
5.7.6 实例小结	115
5.8 本章小结	115
第 6 章 “多元”关联模式的时空数据挖掘	117
6.1 引言：空间关联模式及其挖掘算法	117
6.2 “多元”关联模式构建与挖掘	120
6.2.1 问题描述	120
6.2.2 关联模式搭建：“星型”和“序列型”	124
6.2.3 挖掘算法	126
6.3 合成实例求证——城市规划	130
6.3.1 规划要素集	130
6.3.2 规划要素关联模式挖掘过程	131
6.3.3 结果讨论	134
6.4 本章小结	134

第 7 章 总结和展望	137
7.1 总结	137
7.2 本书创新点	139
7.3 不足与展望	140
附 录	141
参考文献	193
后 序	209



第1章 绪 论

在计算机信息爆炸的时代，产生了大量的跟空间和时间紧密相关的数据，即时空数据。一方面，时空数据大量涌现于众多领域，如环境保护、资源利用、城市规划及土地利用等；人们就大量的时空数据如何计算机信息化保存和管理提出了迫切要求。另一方面，地理信息技术，特别是空间数据库技术不断完善，为建立时空数据模型，存储和管理大量的时空数据提供可行性。时空数据存储的最终目的是实践基于其数据结构的高层次分析，探寻时变规律。

1.1 时态地理信息系统简述

“斗转星移”“气象万千”和“沧海桑田”……从古至今，人们一直在诠释和解读环境变迁下的自然演变和抉择，验证现实世界“运动 and 变化”的客观性。同时，人们也一直在总结和阐述着地理环境及其要素在历史长河中的内在变化规律和激发因子，用此预测未来地理环境的变化趋势，进而科学地指导人与环境的关系调控，以求更好地服务于经济和社会的持续发展（张山山，2001）。运动和变化

是物质随时间的运动和变化。因此,跟随时间脉络,探索适宜的思想和方法以研究和推理客观世界内在机制和发展变化规律,就显得尤其重要(魏海平,2007)。

随着计算机技术,特别是融入了“存储机制”的数据库技术的发展,古老的倾向于“观色象”的思想和方法发生了根本变化。进入计算机信息时代,人们将地理现象和事物的特征要素进行抽象化描述和表达,以实现计算机化(信息化)的容量性存储和有效性管理。其中,时间、空间和属性是地理现象和事物本身固有的三个基本特征,是反映地理实体的状态和演变过程的重要构件(张山山,2001;魏海平,2007)。由计算机所发展的传统地理信息系统(Geographic Information System,缩写为GIS)技术,注重对空间特征和属性特征相结合的表达,将时间视为属性之一。这种表达忽略空间与时间的等同性,导致缺乏对空间对象的时间特征研究(魏海平,2007)。

空间数据和属性数据紧跟时间关联,统称为时态数据。时态数据的频繁交互及所蕴含的高价值信息(即某种运动或变化规律),为时态地理信息系统(Temporal Geographic Information System,简称TGIS或时态GIS)的出现和增速发展提供了契机。时态GIS将时间维和空间维的数据有机地、交互地组织,丰富了地理现象和事物的表达,推动着地理信息系统向动态、多维化方向发展(谢炯,2005)。谢炯(2005)精辟地阐述了当前时态GIS的窘境:“由于时空变化语义的复杂性、时间维表达的特殊性、动态多维扩展后技术实现的繁难性以及海量空间信息考虑时变因素后的超海量性,致使目前仍无普遍接受的时空数据模型基础平台,研制和应用系统开发主体仍沿用传统空间数据模型与建模方法,已难以满足对时空应用发展的需求,尤其是对海量时空数据管理与分析的需求。”

时态GIS的研究有三大重点:一是时空数据模型,建立合适的时间与空间联合的数据结构和组织,具体包括时空语义描述、形式

化表达以及物理存储和检索效率机制；二是时空分析和推理，探寻空间要素随时间变化的内在规律以及在时间、空间和时空上所呈现的内在规则，用于挖掘关联发现和时空推理；三是时空数据的可视化研究，着重探讨不同时间数据的显示、制图和符号化等问题。其中，时空数据模型是时态 GIS 的根基和核心研究内容。时空数据模型的优劣，决定着时态 GIS 操作的灵活性和功效，影响和制约着时态 GIS 应用和发展（陈新保、S. Li、朱建军，2009；李勇，2005）。

当前，时态 GIS 的研究多停留于时空数据模型的数据结构的搭建和组织形式的表达以及时空数据检索效率的方法等研究。对如何快速有效地组织、存储、管理和应用海量、实时的地理时空数据等的研究众多（张山山，2001；魏海平，2007；谢炯，2005；宋玮，2005；徐志红，2005；张保钢，2006；姜晓轶，2006；黄杰，2008）。这些时空数据模型很有针对性地面向某一应用领域的时变特征进行建模。而构建时空数据模型的最终目的是基于时空数据的高级的时空分析和应用。在这方面，众多文献（包含上述文献）缺乏对某一时空数据模型下的时空数据分析功效的探讨。其功效直接影响和判读着时空数据模型的优劣。于是，就如何将时间整合到地理空间（或实体），能表达时空变化语义，并能应用于面向高层级的时空分析（如变化演绎、因果机制、关联发现和预测等）等理论与方法，成为目前时态 GIS 研究的重之所重。

时空数据模型的研究大体分成两大类：第一，数据结构和组织，遵循数据库构模过程中的“概念”“逻辑”和“物理”的层次设计理念，目的是实现时空数据的方便存储和高效检索；第二，计算模型，基于场模型（或基于位置）的时空数据分析或表达模型动态描述时空变化过程，具有鲜明的时空耦合特征；模型主要有地理元胞自动机（CA）（张山山，2004）、有限元变形分析、光流运动计算、多尺度时空小波分析、随机过程随机场和时空拓扑推理模型等（舒红，

2007)。多重表达实体(谢炯, 2005)整合地理特征域、时空场域和关联域等, 能无缝耦合离散对象和连续场。多重表达模型致力于数据结构的精细描述和表达, 缺乏时空规律中的内在机制的描述和表达, 并未涉及面向该模型的时空分析实践。

1.2 时空数据模型的论述

时空数据模型是时态 GIS 的核心。众多时空数据模型(Langran, 1992; Peuquet & Duan, 1995; May, 1996; 龚健雅, 1997) 已经被提出了。在综述(Langran, 1992; May, 1996; Pelekis, Theodoulids, et al.; 尹章才、李全, 2002; 薛存金、谢炯, 2010) 已有时空数据模型时, 就如何区别时空数据模型的异同, 众多研究人员和学者更多的是比较模型优缺点或罗列和陈述各模型针对某一案例的实践和应用, 而没有阐述模型间的本质区别, 没有过多地解释模型扩展及其关联性。这类综述方法常无法跟踪模型的扩展、变异和发展趋势, 最终导致在选择模型的应用、实践和整合其他非时空数据模型时, 不能做出最优抉择。与众多相关时空数据模型的综述文献不同, 本节将探寻时空数据模型的扩展与关联, 阐述模型间的本质区别, 呈现模型的演变过程, 从而为人们在应用和实践时空数据模型时提供科学的指导, 为模型的扩展和新模型的研究提供理论依据和参考。

根据所描述的时空目标本身的情况, 主流时空数据模型大致分成三类(陈新保, S. Li, 朱建军, 2009; 李玉兰, 2007), 如表 1-1 所示。该分类方法能覆盖大多数模型, 同时从本质上能区别各类模型的异同。本节主要梳理各类时空数据模型的特征和模型关联性, 比较各模型优缺点同时, 重在阐述各类模型的扩展和变异, 从本质上解释众多模型的异同。

表 1-1 时空数据模型分类方法和归类情况表

分类方法	类别	模型归类	适用范围
时空数据模型	侧重于对时空实体状态本身的描述	如序列快照模型、基态修正模型、时空立方体模型、时空复合模型以及陈军的非一范式关系时空模型等	矢量数据，但更适合栅格数据，可以跟 CA 模型进行扩展
	侧重于时空实体变化过程	如基于事件驱动的时空数据模型、定性因果模型、基于图论的时空数据模型和基于过程（Voronoi）的时空数据模型等	栅格或矢量数据，可以做时空推理分析
	侧重于时空实体本身和时空关系描述	如时空立体模型、面向对象的时空数据模型、面向特征和地理本体的时空数据模型等	矢量数据，可以做时空规划分析

1.2.1 侧重状态描述的时空数据模型

侧重状态描述的时空数据模型，也称为基于时间标志的时空模型，基于早期所提出的时空数据模型，是 GIS 空间数据模型（矢量与栅格模型）的扩展，包括时空立方体模型、快照序列模型、基态修正模型和时空复合模型等，如专栏 1-1 所示。Langran（1989）和 Peuquet（1994）对早期所提出的侧重状态描述的时空数据模型进行了阐述：状态是指描述地理现象的空间分布；快照序列模型是对整个数据集的快照，是不同于数据集的硬拷贝，冗余量大，而基态修正模型、时空复合模型只保存数据库中变化的内容，对于没有更新变化的内容，只物理存储一次，冗余量小。此类模型的共同特征是侧重对时空现象或目标状态本身的描述，把时间作为空间对象的一个属性，众多变化通过累积的方法以状态的方式呈现。空间信息技术特别是多源遥感，为土地利用动态监测提供了快速、高效的手段，基于不同时相的影像可比较快捷、准确地提取土地利用的变化，因此，由遥感影像直接或间接提取的变化信息，多采用此类基于状态（栅

格) 时空模型的表达和存储 (尹章才、李霖, 2005)。然而, 此类模型无法表达时空对象关系和变化过程是其最大缺点。

专栏 1-1

侧重状态描述的主要时空数据模型

1. 序列快照模型 (Series Snapshot Model) 及其扩展

序列快照模型最早由 Armstrong (1988) 提出, 如图 1-1 所示, 每一层 (S_i) 是在某时刻 (t_i) 一系列数据状态的集合。其缺点是无法确定任意两层间隔里的变化对象以及由未变化数据产生累加所造成的大量数据冗余。

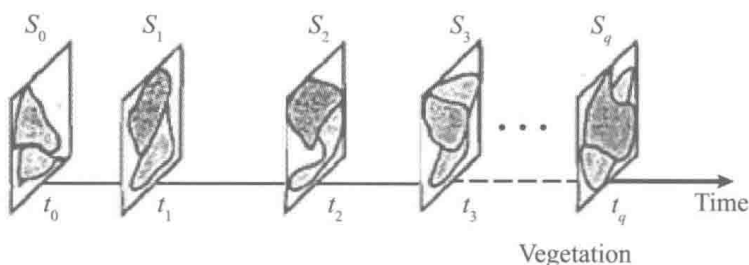


图 1-1 序列快照模型 (Peuquet & Duan, 1995)

此模型的一种改进, 就是基于时态的栅格模型 (Langran, 1992), 如图 1-2 所示。阵列格网的每个位置以变长列表的形式来表示空间随时间变化的累积的空间变化量, 其优点就是它只存储特定位置上的变化, 可避免数据冗余, 非常适合栅格数据的时空分析。其缺点就是数据库实现复杂。

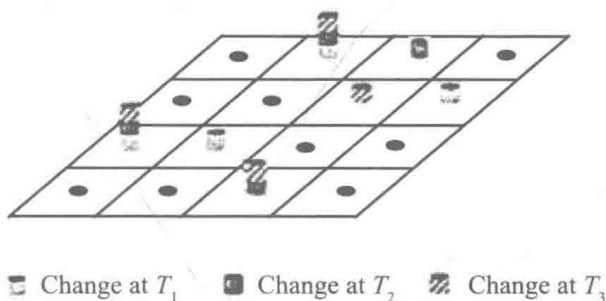


图 1-2 基于时态的栅格模型 (Langran, 1992)

国内学者尹章才、李霖 (2005) 所提出的基于快照—增量的时空模型, 如图 1-3 所示。其采用版本表示地理现象的状态, 用增量表示基于版本的时空现象变化。此模型是序列快照模型和基态修正模型的扩展, 是两种模型优势互补的结果。但是, 随着时间的推移, 增量数据越来越大, 查找快照与版本之间的增量是非常困难的, 需要建立基于增量的时空索引机制。另外, 田娇娇、唐新民、杨平 (2006) 提出的动态版本—差量模型, 本质类同。

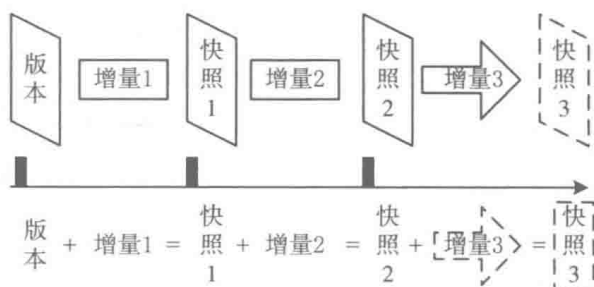


图 1-3 基于快照—增量的时空模型 (尹章才, 1992)

2. 基态修正模型和时空复合模型

基态修正模型只存储基态 (初态) 和累积变化的对象, 如图 1-4 所示。由于基态修正模型在每次发生变化时存储的量是基态和累积变化的对象, 存储量大, 而时空复合模型, 如图 1-5 所示, 存储的是基态和此次变化的对象, 存储量小, 但变化增多导致碎片加大。