

# 时空一体化数据的 TGIS 设计的初步探讨\*

陈 晋 史培军

(北京师范大学资源与环境学系 北京 100875)

李 京

(北京大学遥感技术应用研究所 北京 100871)

**摘 要** 在大量调研国外有关文献的基础上,对受到国际GIS领域的高度重视的时空一体化数据的地理信息系统 TGIS (Temporal Geography Information System)的概念模式、数据模型与功能设计等问题进行了分析,认为建立在时空拓扑结构基础上,具有时空数据管理、查询、时间维数据整合和内插、时序及时空分析工具、可视化操作等功能的 TGIS 将是未来 GIS 发展的趋势,它将极大地促进 GIS 在应用领域的广度和深度。

**关键词** 时空一体化数据, TGIS, 拓扑结构

## 1 发展时空一体化数据的 TGIS 的现实性

空间位置 (Location)、时间 (Time) 和属性 (Attribution) 构成了地理现象的 3 个基本要素,即可描述见图 1。

$$E = f(S, T, A) \quad (1)$$

$S$  是空间参数。通过空间坐标体系和空间关系来描述。空间坐标体系包含着空间尺度和定位坐标两层涵义;空间关系则体现了空间实体间的相互关系,有邻接、连通、包含等关系, GIS 中拓扑关系所描述的就是这种空间对象 (Object) 间空间位置的相关关系。 $T$  时间参数与空间参数相类似,由时间坐标体系和对象的发展过程的关系来描述,时间坐标体系是指对象的时间尺度和对象某一状态所对应的时间座标(如: 1993 年 1 月 1 日的气温值)。对象间时间关系相对简单,可在过去—现在—未来的时间轴上用前后、邻接、包含、相遇等关系进行刻划<sup>[1]</sup>。 $A$  属性参数则是对给定时间与空间的地理对象特性的数量描述,如大小、多少、质地等。

地理现象的时间、空间和属性 3 要素具有不可分割性(非独立性)<sup>[2]</sup>,即只有对地理现象时间、空间和属性的完整表达才能揭示地理现象的特征和规律。然而,在人类获取地理信息和分析地理现象过程中,量测和分析地理现象的 3 个要素时,测量一个要素的变化通

\* 国家“八五”科技攻关资助项目。

本文及研究工作得到中国农业科学院李博教授和北京师范大学张兰生教授的悉心指导和大力支持,在此致谢。

收稿日期: 1994 年 3 月 11 日;收到修改稿日期: 1994 年 10 月 12 日

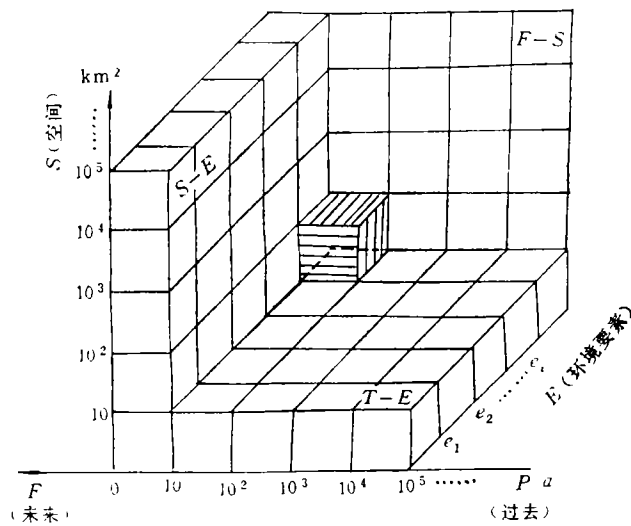


图 1 描述地理现象的参数体系

Fig. 1 Parameter system of geographical phenomena description

常必须控制另一个要素和固定第 3 个要素<sup>[3]</sup>。而在分析地理信息时,也要对 3 个要素分别给予不同约定,从不同侧面进行如:

(1) 变化序列研究是给定对象空间位置,在时间座标下讨论对象的某一属性随时间的变化特征。

(2) 空间分布格局研究是确定时间座标,在空间座标下研究对象属性值(单属性、多属性)的空间分布特征及相互关系。

(3) 变化的区域分异研究是对一定的属性值,在时间和空间联合的座标下讨论对象随时间变化特征的区域分异或不同时间下空间分布格局的差异。

地理信息的获取和分析具有“独立性”。

对地理现象完整而准确地表达和分析是 GIS 的核心所在,地理要素之间的“非独立性”与地理要素获取和分析的“独立性”之间必然存在着矛盾,这一矛盾使得独立获取的地理信息与分析问题所需的信息并不完全一致,从而使现有 GIS 软件仅能局限于对空间一属性数据的表达和分析上,而未能对地理现象随时间变化的特征和规律的认识提供有效的手段。要解决这一矛盾,真正实现对地理现象完整、准确地描述,发挥出 GIS 的强大功能,必须能够将独立获得的信息集成为对地理现象空间、时间、属性完整描述的数据,即时空一体化数据。实现统一存贮、管理,并能按不同需要提取,完成时序、空间、时空等多种分析。这种对数据集成能力的需求是 TGIS 发展的内在源泉。

人类社会发展到今天,它对自然界的认识 and 影响已由静态的、局部的上升到动态的、全球的水平。人类面临的诸如温室气体增加与全球变暖、资源短缺与环境恶化等全球环境问题都急待人类自身去研究解决。这种建立在大空间—时间尺度上、涉及多学科领域、具有高度综合和交叉特点的研究,以及它的成果应用、动态监测都迫切地需要 TGIS 这一工具的有力支持。

80 年代后期, 计算机软、硬件技术水平飞速发展, 大容量存储器与高速 CPU 的普及, 面向对象的软件设计方法的应用, 时间、空间分辨率的遥感平台的使用, 均为时空一体化数据的 TGIS 的研究提供了技术保障。

综合上述分析, TGIS 的建立与发展已在内因、外因和技术等方面具备了充足的条件, 成为当前 GIS 领域的当务之急, 引起了国际 GIS 领域的高度重视<sup>[4]</sup>。

## 2 TGIS 中时空一体化数据 (Spatio Temporal data) 的概念框架

时空数据(属性隐含)可以用二维时间—空间参考坐标系描述<sup>[5]</sup>(图 2)。沿时间轴记录地理现象的时间变化, 沿空间轴记录地理现象的空间变化。表现空间变化的“地图”和时间变化的“状态”是时空数据研究中的两个基本概念。地理现象在空间上则由若干的空间实体(对象)所组成, 在时间上则是由一系列状态所组成, 状态的转换称作“事件”, 在一个地理现象中只要所包含的对象中有一个发生变化, 就构成一次事件, 意味着一次状态的转换。在一个状态内, 地理现象的时间特征是相对稳定的, 所表现出的是其空间变化特征, 即对象的空间差异。每一个“状态”都对应一个“地图”。这样状态、地图、事件、对象就

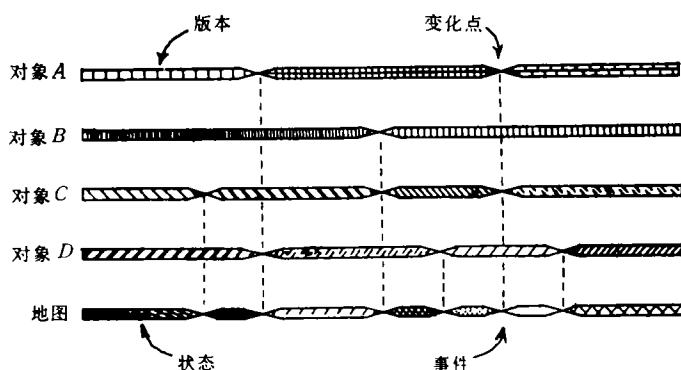


图 2 时空一体化数据的概念框架

Fig. 2 Concept framework of spatiotemporal data

表 1 时空信息的空间特征和时间特征对应关系表

Table 1 The Corresponding relationship between spatial and temporal characteristics of spatiotemporal data

	空间特征	时间特征
整体描述	地图	状态
变化描述	边界	事件
尺度	像元	小时、天、年等
测量	长度、面积	间隔、持续时间
局部描述	对象(目标)	版本
位置描述	座标	时间
关系	邻接、连通、包含等	前后、包含、相遇
邻域	无限制	前后二个

构成了一个时空数据的基本概念框架。在这个框架中,数据的空间特征和时间特征具有一定的对等性<sup>[2]</sup>(表 1)。

在上述概念框架下的时空数据包括两种类型数据:状态数据和事件数据。状态数据就是现在 GIS 中的数据,事件数据则描述状态数据的变化特征(图 3)。这两种数据都有其具体对应的有效时间,包括现象的物理时间、数据的采集时间和数据的入库时间,这 3 个时间将是数据时效性检查及数据组织和分析时的主要参考指标。

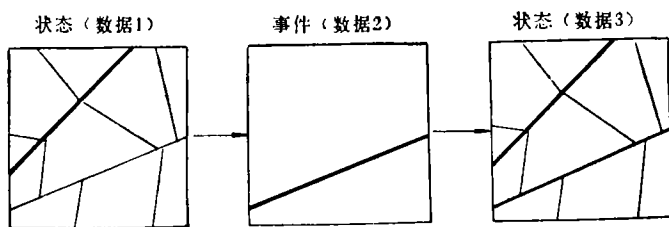


图 3 时空数据的两种类型数据

Fig. 3 Two types of spatiotemporal data

### 3 时空一体化的数据模型

时空一体化的数据模型必须具有时空二维的“拓扑”特征,才能有效地提高数据的质量和效率。成熟的数据模型应当能够有效地表现地理现象之间空间和时间的拓扑联系;可以根据拓扑联系,捕捉数据中存在的错误,提高数据质量;能够有效地减少数据存贮的冗余。

目前国际上已有 Langran、Chrisman 等人提出了一系列时空数据模型,这些模型在表达数据的时空一体化特性中各有优劣,但都为时空一体化数据模型的最终完善和 TGIS 的建立做出了有益的贡献。

#### 3.1 连续快照模型 (Time-slice snapshots)<sup>[6]</sup>

常规的时空数据模型(如遥感数据的采集方式)即为连续快照模型(图 4)。一系列状态对应的地图构成了地理现象的时空演化过程,在这种模型下确定  $T_i$  状态下的地理现象特征是很简单的。但确定从  $T_i$  状态到  $T_j$  状态下现象所包含的某个对象特征的局部变化则必须经过大量的快照图像的比较才能实现。问题的根源在于快照图像仅代表地理现象的状态而缺乏对现象所包含的对象变化的明确表现,因此它不能确定地理现象所包含的对象之间在时间上的联系。从其捕捉错误的能力考察,由于没有时间维拓扑联系的存在,这一模型将把根据对象时间联系确立的捕捉错误的规则实施下去。另外,由于连续快照是对状态数据的完整存贮,其数据冗余将是巨大的。

#### 3.2 底图叠加模型 (Base map with overlay)<sup>[6]</sup>

这一模型类似于地理底图的修订方式(图 5)。其基本思路是首先确定数据的初始状

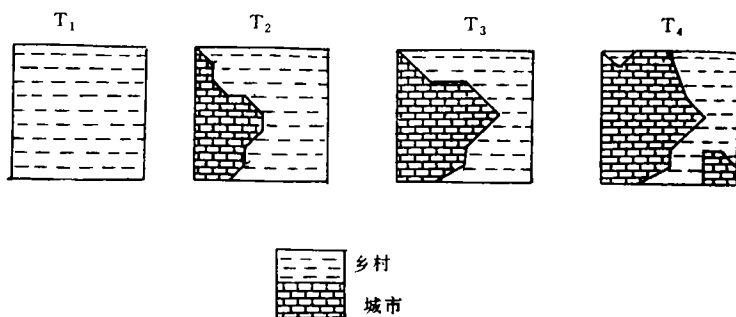


图 4 连续快照模型图示

Fig. 4 Time-slice snapshots data model

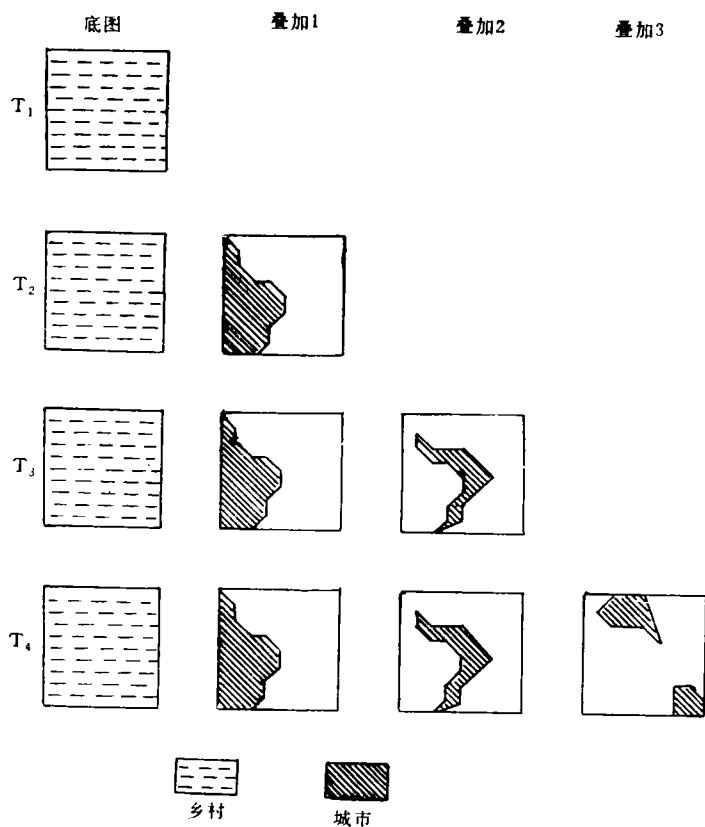


图 5 底图叠加模型图示

Fig. 5 Base map with overlay data model

态 ( $T_0$ ), 然后按照适宜的间隔记录发生变化的区域(事件数据)。通过叠加操作, 用事件数据建造状态数据, 每一次叠加即意味着一个状态的变化。这一模型与前述的时空数据概念模式基本吻合。

在这一数据模型中, 现象所包含对象的时间变化拓扑特征通过叠加操作的顺序来表

现,如:  $A$  对象的变化紧邻于  $B$  对象的变化,则其叠加操作必然是紧邻的。由于该数据模型包含了数据在时间维的拓扑特征,因此,其实现时间维查询和分析都较为简单和高效,这也有利于获得对象的变化规律,从而捕捉不适宜的错误。从存贮容量看,由于仅存贮事件数据和较少的状态数据,将大大地节省存贮空间。需要指出的是,该模型较为适宜于栅格数据为基础的 GIS。

### 3.3 时空合成模型 (Space-time composite)<sup>[7]</sup>

该模型是在底图叠加模型基础上由 Chrisman 在 1983 年提出的,其设计思想是各次独立的叠加操作转换为一次性的合成操作 (Accumulated Overlay) (图 6)。每一次状态的变化都意味着一部分区域从其父区域中分离出来形成独立的区域,换句话说,变化的累积即形成最小变化单元,最小变化单元构成的图形文件和记录变化历史的属性文件联系在一起即可完整地表达数据的时空特征。

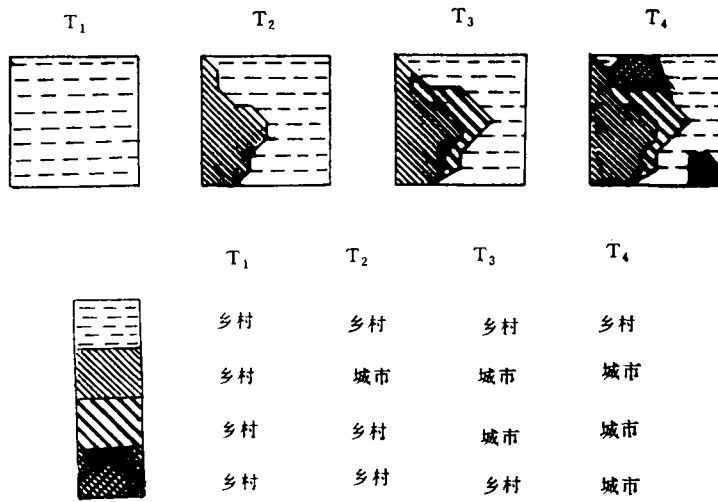


图 6 时空合成模型图式

Fig. 6 Space-time composite data model

该数据模型一方面继承了底图叠加模型的优点,另一方面,由于与现今 GIS 软件表达空间-属性数据的手段的相似性,容易用现今的以矢量为基础的 GIS 软件实现。使用该数据模型进行时空数据的提取和分析时,由于其时间变化特征是存贮在关系型数据库中,因此操作十分简便和高效,其存贮容量也得到了更大的压缩。该模型较为适宜于确定了起、止时间的时段研究,而对于不断更新的数据,每一次叠加耗时都是巨大的,而且在叠加过程中还将带来多边形碎化。

## 4 中国北方草地生产力动态监测研究中 TGIS 的初步设计

中国北方草地生产力动态监测项目的目标是以气象卫星 (NOAA/AVHRR) 及地面

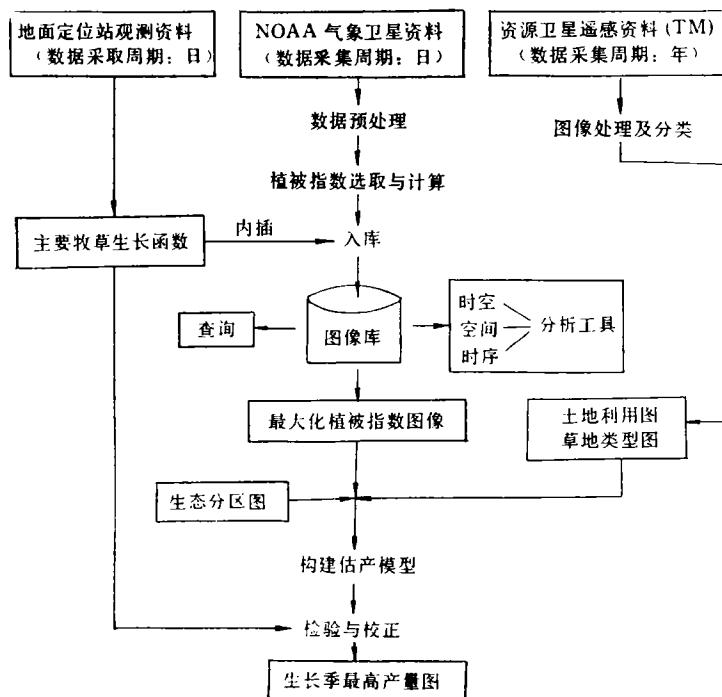


图 7 草地生产力估算流程框图

Fig. 7 Flow chart of grassland yield estimate

定位站资料为基础,对北方草地生产力进行动态监测及估算,并以此建立草地畜牧业发展的优化模式。本项目选择内蒙古锡林郭勒草原为试验区。在估算生长季最高产量的工作中,我们构建了一个 TGIS 的雏形,它是在现有图像处理系统 (PCI 系统)和 GIS 系统 (IDRISI) 的基础上扩展完成的。这一系统具备了 TGIS 的基本特征和主要功能。

#### 4.1 时空数据管理

时空数据管理功能能够将多时相遥感资料叠加为时空一体化数据,并完成质量检查和统一存贮。由于采用了底图叠加的数据模型,数据管理的实质就成为选择一较为理想的图像为“底图”(状态数据),并以时间为轴,用这一图像不断与新资料叠加,确定变化的“事件”数据,对事件数据采用游程编码进行压缩存贮,同时记录事件数据的时间参数。

#### 4.2 时间维数据的内插和综合操作

NOAA 卫星数据采集周期为天,受天气、接收设备等方面的影响,会经常出现数据缺失,时间维数据的内插可以将具有一定间隔的离散数据内插成满足时间分辨率的数据,弥补数据缺失的损失。在我们 TGIS 系统中采用了两种内插方法,一种是常规的线性内插算法,另一种是生长函数拟合算法,即利用地面定位观测资料,建立主要牧草的生长规律拟合函数,以此来内插不同草地类型的时间维数据。

时间维数据的综合是将不同时间的状态数据作为输入量,利用综合函数(如极值、最

大值、最小值、趋势拟合、序列相关等), 找寻地理现象沿时间维变化的总体特征。它的物理意义在一定程度上与 GIS 中的空间聚合功能 (Aggregate Operation) 相类似。

在草地估产 TGIS 中, 通过内插功能可以得到每日的 NOAA 数据, 并进行进一步的工作; 综合功能辅助完成了生长季最大化植被指数图<sup>[6]</sup>, 它是最终建立草地估产模型的必要基础; 而对时间维数据的查询而言, 插值和综合功能可以满足对任意  $T_i$  时数据的查询, 实现了信息的连续性和整体性。

### 4.3 时序、时空分析工具

时序、时空分析功能是 TGIS 中最需要发展的部分, 现有的 GIS 软件均不能很好地完成这方面的分析, 而且时空分析应当是 TGIS 有别于 GIS 的关键。时序分析有谱分析、谐波分析、周期图分析、马尔柯夫链分析、平稳时间序列的 ARMA 模型等多种分析方法。时空分析常用的方法有时空数据的主成分分析 (PCA)、自然正交函数展开 (EOF)、车贝雪夫多项式展开、过程一致性的模糊聚类等。在此次草地估产 TGIS 系统中只完成了 GIS 与专用时序分析软件包的接口, 深入的工作有待进一步开展。

### 4.4 时空数据的可视化操作

时空数据的可视化操作是分析人员提出假设和检验结果的重要途径。由于 TGIS 中时空一体化数据的多维性, 可视化的实现在很大程度上依赖于计算机硬件和图形学研究的发展。在草地估产 TGIS 中初步实现了在多窗口显示<sup>[7]</sup>、幻灯片仿真(动画)和剖面显示(时间维剖面) 3 种方式下, 对时空数据进行显示、缩放、平移、旋转、变换视角、剪切等可视化操作功能。

## 5 主要结论

(1) 时空一体化数据的 TGIS 的发展具有极大现实意义, 这是由应用领域要求完整地表达和分析地理现象的特征与变化规律, 而目前 GIS 又有所缺陷的矛盾决定的。

(2) 在时空一体化数据的概念模式基础上, Langran、Chrisman 等人提出的时空数据模型, 表达了时空数据的拓扑特征, 为时空数据一体化的 TGIS 的设计奠定了基础。

(3) 结合中国北方草地动态监测研究项目, 设计了一个 TGIS 的雏形, 它具有时空数据管理、查询、时间维数据内插与综合、时序及时空分析工具、可视化操作等功能。

### 参 考 文 献

- [1] Allen, J. F, H. A. Kautz, A Model of Naive Temporal Reasoning, Formal Theories of the Commonsense World, Ablex Publishing Corporation, 1985.
- [2] Parkes, Thrift. Times, Spaces and Place, New York, John Wiley and sons, 1980.
- [3] Sinton, David, F, The Inherent Structure of Information as a Constraint to Analysis: Mapped Thematic Data as a Case Study. Harward Papers on Geographic Information Systems, 1978, 7, 1-17.
- [4] Jean-cloude Maller. Lastest Developments in GIS/LIS. INT. J. Geographical Information System. 1993, (7) 4.

- [5] Langran Gail. Temporal GIS Design Tradeoffs. GIS/LIS'88 Proceeding. 1988.
- [6] Langran Gail. Accessing Spatiotemporal Information in Temporal GIS. Auto-Carto'9 Proceeding. 1989.
- [7] Chrisman. The Role of Quality Information in the Long-term Functioning of a Geographic Information System. Cartographica. 1983.
- [8] 李京,陈晋,袁清. 利用 NOAA/AVHRR 遥感资料对大面积草地产量进行定量监测方法的研究, 自然资源学报,1994,10(4).
- [9] 林晖. 关于时空复合的初步探讨, 地理信息系统发展与前景, 北京: 科学出版社, 1993.

## The Preliminary Study of Design of Temporal GIS Based on Spatiotemporal Data

Chen Jin Shi Peijun

(Department of Resources and Environment, Beijing Normal University)

Li Jing

(Institute of Remote Sensing Application, Peking University)

**Abstract** Based on references both at home and abroad, the concept model, data model and functions of Temporal Geography Information System (TGIS) have been studied and evaluated. Developing TGIS which is built up on the base of topological structure of spatiotemporal data is trend of GIS. The strong TGIS with functions of space-temporal data management and query, temporal interpolation and aggregation, the tools of time-series and time-space analysis, visualization will promote GIS to be used more intensively and extensively.

**Key words** Spatiotemporal data, TGIS, Topological data structure