

文章编号: 1007-6301 (1999) 02-0147-06

# 数字地球的时空维实现

王晓栋, 崔伟宏

(中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101)

**摘要:** 在全球变化研究和持续发展战略推动下形成的地理信息科学是数字地球的科学技术基础, 而数字地球也为地理信息科学的发展提供了源动力。数字地球将深刻改变人类的政治、经济和科技格局。现在还不能给数字地球一个明确的定义, 但可以认为数字地球的核心是一个分布式、多尺度、多维的地理信息系统。TGIS 研究是实现数字地球的关键技术之一。目前可以本着综合型和分解型两种思路对 TGIS 进行平行探索。最后介绍了一个基于分解思路的 TGIS 原型: TDBDML。

**关键词:** 数字地球; 地理信息科学; 多时态地理信息系统

**中图分类号:** N941 **文献标识码:** A

数字地球 (The Digital Earth: DE) 最早出现于 1997 年下半年。1998 年 1 月 31 日在美国加利福尼亚科学中心美国副总统戈尔 (AL Gore) 发表的题为“数字地球: 二十一世纪认识地球的方式(The Digital Earth: Understanding our planet in the the 21st Century)”的演讲将数字地球正式提了出来<sup>[1]</sup>。1998 年 6 月 11 日江泽民主席在中国科学院第九次院士大会和中国工程院第四次院士大会的讲话中再次提及数字地球。这显示出数字地球一词的重要性和权威性。

## 1 数字地球产生的背景及内容

数字地球的提出是建立在人类科学技术发展成果的基础上, 并且有其深刻的社会、经济背景。

### 1.1 数字地球产生的科学技术基础: 地理信息科学

数字地球虽然是一个新概念, 但它涉及的大部分理论、技术、数据和应用都与现有的直接相关, 只是从更高的层次、系统论和一体化的角度来组合和应用已有和正在发展的理论、技术、数据和能力。

1946 年世界上第一台电子数字计算机(ENIAC) 在美国诞生, 人类社会步入信息社会。1957 年苏联成功发射两颗人造地球卫星, 揭开了人类空间时代的第一页。运用空间信息手段认识世界、改造世界成为 20 世纪后半叶人类活动的一大特点。

20 世纪 70 年代以后人类社会面临的最大挑战是 50 年代以后逐步意识到的全球环境

收稿日期: 1999-01; 修订日期: 1999-05

作者简介: 王晓栋 (1971-), 男, 1995 年获硕士学位, 同年继续在中国科学院遥感应用研究所攻读博士学位。研究方向为多时态地理信息系统、3S 综合应用。已在国内外发表论文 10 余篇。

问题。由于科学技术的发展、人口的急剧膨胀、生产规模的日益扩大以及消费水平的不断提高等原因,使得生存空间的狭小、资源的匮乏和环境的恶化成为人类无法回避的现实。进行全球变化 (Global Change: GC) 研究,理解地球内部的物理、化学和生物过程,增强预测能力、实现持续发展 (Sustainable Development: SD) 战略成为全球科学、社会、经济活动的起点和归宿。可以说 20 世纪后期以来世界范围内人类活动的两大背景是 GC 研究和 SD 战略。

在 GC 研究和 SD 战略的推动下,60 年代产生的航天遥感技术 (Remote Sensing: RS) 和地理信息系统 (Geographical Information System: GIS) 及 90 年代成型的全球定位系统 (Global Positioning system: GPS) 都得到了飞速的发展,尤其是在计算机技术和通信技术的支持下以它们为主、以 GIS 为核心的地理信息科学 (Geographical Information Science: GISci) 在 90 年代初步形成 (图 1)。

地理信息科学的研究目的是以计算机为主要支撑硬件、以数字形式对地球局部或者整体进行动态监测、精确描述和管理分析。数字地球的提出是以 GISci 的形成和发展为基础的。而数字地球的提出也是对 GISci 进行应用驱动 (Application-Driven) 的源动力。

数字地球是当代科学技术发展的必然结果,为新世纪空间科学、信息科学和地球科学的发展提供了崭新的思路<sup>[2]</sup>。

### 1.2 数字地球产生和引起重视的社会、历史背景

美国提出的数字地球是其全球战略的一部分。二战以后美国即成为世界上两大超级大国之一,苏联的解体更使其在国际事务中充当起第一发言人和消防队员的角色。其战略目标是保持优势,即在下一世纪保持其霸主地位。另外,几十亿美元的产值和几十万的就业机会也是数字地球吸引力所在。

我国的战略目标是“赶超型”的,数字地球对我国在以下几方面尤其具有重大的意义:

① 充分利用现有数据和信息资源的最佳途径,并为信息高速公路提供必需的信息资源。

② 科技领域在国际上占有一席之地的历史性机遇。

③ 实施 SD 战略的重要手段、信息资源的主体核心、知识经济时代的制高点。

由于数字地球将在 GC、SD、高效农业、环境、资源、人口、灾害、科研教育、商贸等几十个领域发挥重要作用<sup>[3]</sup>,因此在中国、美国和世界其他国家都引起了高度重视。

### 1.3 数字地球的含义

数字地球是什么?对这个问题的回答主要有“号召论”和“工程论”,具体来说有以下几种观点:

(1) 可以嵌入海量地理数据、多分辨率、三维的对地球表示 (戈尔)。

(2) 虚拟地球 (美国 1998 年 6 月 23 日数字地球研讨会)。

(3) 对真实地球及其相关现象的统一性的数字化重现和认识,其核心思想是用数字化的手段来处理整个地球方面的问题 (中国部分高级学者)。

正如 90 年代以前,在 GIS 产生近 30 年后科学家们还无法给出一个准确的 GIS 定义一

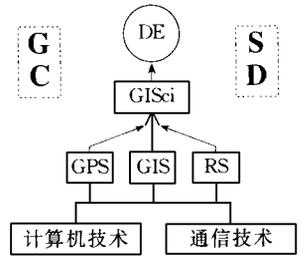


图 1 数字地球和科学技术基础: 地理信息科学

Fig. 1 The basis of DE: GISci

样, 对数字地球的含义在现在不可能有一个明确的限定, 只可有一个方向性的认识, 如:

① 信息获取、处理和应用是数字地球的三个重要组成部分<sup>[4]</sup>。

② 数字地球的核心思想是用数字化手段统一性地处理地球问题、最大限度地利用信息资源。

③ 数字地球主要是由空间数据、文本数据、基于 INTERNET 的操作平台和应用模型组成。

可以肯定的是在数字地球这个统一性术语(Umbrella Term)下, 以 GISci 为核心, EOS 计划、INTERNET - II 计划和其他一些大型的国际合作计划将捆在一起形成一个大的方向, 将使现有的学科进一步交叉、融合, 将大大推进 GC 的研究、SD 战略的实现和学科重组。

作者认为数字地球是一个分布式、多尺度、多维(4.5 维)的地理信息系统, 数据主要源于遥感技术、全球定位系统和其他数字化手段。

## 2 数字地球的时空维

数字地球研究所涉及关键问题(如 1m 分辨率卫星、宽带数据网、超级计算机和 1m 分辨率全球数据库等)的核心是建立地理数据库, 而数据库建立的关键是数据模型的建立。以数字地球为目的的地理数据模型研究涉及诸多学术前沿问题, TGIS (Temporal GIS) 便是其中之一。

### 2.1 时空模型研究概述

传统的 GIS 应用只涉及地理信息的两个方面: 空间维度和属性维度, 因此也叫 SGIS (Static GIS)。而能够同时处理时间维度的 GIS 叫 TGIS (Temporal GIS)。TGIS 数据模型特点是语义更丰富、对现实世界的描述更准确。其物理实现的最大困难在于海量数据的组织和存取。TGIS 技术的本质特点是“时空效率”。

1988 年 Lorentzos、1989 年 Langran 作了 TGIS 方面最早的博士论文<sup>[5]</sup>。到 1994 年为止, 有大约 300 名研究人员发表了 350 多篇关于时态数据库的文章。而同时涉及时态、空间数据库的文章有大约 160 篇。这反映了在 TGIS 重要性被广泛认同的情况下, 其研究还没有得到足够的重视。1996 年 UCGIS (University Consortium for Geographic Information Science) 将 TGIS 作为“地理描述扩展”的一部分列入 GISci 十大优先研究领域之列<sup>[6]</sup>。现在 TGIS 在国内外吸引了越来越多的学者进行深入研究。当前主要的 TGIS 模型包括:

- ① 空间-时间立方体模型 (the space-time cube);
- ② 序列快照模型 (sequent snapshots);
- ③ 基图修正模型 (base state with amendments);
- ④ 空间-时间组合体模型 (space-time composite)。

序列快照模型和 GIS 分类中的模拟 GIS (analog GIS) 一样, 只是一种概念上的模型。不具备实用的开发价值。其他几种模型都有自己的特点和适用范围, 如基图修正模型比较适合于栅格模型的 TGIS 开发<sup>[7]</sup>。

### 2.2 TGIS 的研究思路

TGIS 海量数据的处理必然导致数学模型的根本变化。TGIS 问题的最终解决在于“可

与拓扑论相类比的”全新数学思想的出现。目前可以研究 TGIS 技术,以便在 SGIS 的框架中用 TGIS 技术实现 TGIS 功能。TGIS 模型的研究可以本着两种思路进行平行探索:综合型模型和分解型模型。先用分解模型思路针对典型应用领域(如土地利用动态监测工作)进行全面研究,同时不断丰富、充实综合型模型。最后争取得到①一个比较完善的综合模型,②几个相当成熟的应用模型,③由综合模型得到应用模型的思路。

### 3 土地利用动态监测数据库

我国土地利用变化范围广、变化速度快。因此,土地利用动态监测数据库中的数据更新是一个频繁的过程,土地利用动态监测数据库应该是一个 TGIS。下面用分解模型的思路针对土地利用动态监测工作的特点设计了土地利用动态监测多时态数据库(Temporal Data Base for Dynamic Monitoring Landuse: TDBDML)。

#### 3.1 土地利用单元的状态及变化

土地利用单元(Unit)的三要素是空间信息(Spatial Information)、时间信息(Time)、属性信息(Attribute)。可以描述为:

$$U = F(S, T, A) \quad (1)$$

式中  $S$  是空间信息,通过坐标系统和位置坐标来确定,在本文中的坐标系统是一个欧氏平面,即用  $X$ 、 $Y$  轴相互垂直的一个平面;  $T$  为时间信息,  $T$  轴与  $X$ 、 $Y$  垂直;  $A$  为属性信息。

空间信息可以分为九大类,其中空间位置是核心,空间位置决定了空间尺寸、形状、分布、拓扑关系等方面。属性信息可以分为核心属性(如用地类型)和普通属性(权属、争议权属等)。时间信息的核心是产生时间和消亡时间。

一个用地单元从产生时间起,便拥有空间位置和核心属性。直到消亡时便发生核心属性的消亡与空间位置的失去。所以空间位置、核心属性、产生时间和消亡时间在用地单元三要素中具有特殊的意义。

时间元素的本质作用是定位变化的发生。用地单元的变化包括空间变化、属性变化。空间变化如空间位置的产生、消亡、扩大、缩小、移动等属性变化可以分为核心属性的质变、非核心属性的质变、量变等。农村土地统计年度为上年的 11 月 1 日到当年的 10 月 31 日,所以整个数据库的时间分辨率以“天”为单位是足够了。

#### 3.2 基本用地单元的概念描述

Worboys1992 年描述了一个基于空间-时间立方体的面向对象的时空模型,但该模型只考虑空间变化,没有考虑属性的变化。本文扩展 Worboys 的思想,将用地单元的时空、时属变化描述为一个 3.5 维单元(空间二维+时间一维+属性 0.5 维):基本用地单元。

这样,一个基本用地单元可以用  $Unit \{ID, S, [TB, TE], [AB, AE]\}$  表示,  $ID$  表示单元的标识号,  $S$  为该单元的空间范围,  $TB$ 、 $TE$  为单元的起止时间,  $AB$ 、 $AE$  为单元的起止属性。

#### 3.3 基本用地单元间的关系研究

直接描述基本用地单元的关系是很困难的,我们可以将基本用地单元投影到三个元素域中分别进行关系描述。首先是空间域,空间关系描述和操作是 GIS 领域的一个比较成熟的研究领域,这里不再赘述。属性域的关系以用地类型为例(在包头的工作中,按照国家

规程将用地类型分为 8 大类、46 小类) 可以分为“同大类同小类”、“同大类不同小类”、“不同大类”、“现是谁的子类”、“曾是谁的子类”、“将是谁的子类”等情况。理论上讲, 基本用地单元的时间域的投影应该有点 (instant time) 和线 (time interval) 两种形式, 但由于用地类型的持续性, 我们只考虑线形式。任何一个时间段可以用  $TB$ 、 $TE$  ( $TB < TE$ ) 来表示, 两个时间段之间的关系共有 7 种, 即: 早于、晚于、相遇、重叠、包含于、包含、相同。

### 3.4 TDBDML 的系统逻辑和物理存贮

TDBDML 功能实现是靠对基本单元的存取、计算、分析。产生基本单元的方法是对多层时态数据的 OVERLAY 操作。

TDBDML 的概念基础是空间-时间立方体, 由于数学基础所限, 不能将基本单元用立方体的形式来存贮。概念层面上为一体的基本单元在逻辑层面上分为三个部分: 空间数据、时间数据、属性数据。而在物理层面上是将时间数据和属性数据都放在属性数据库中(图 2)。一个单元各个部分的数据通过公共标识符相联系, 这是混合型 GIS 的经典方法。

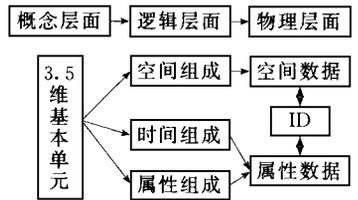


图 2 TDBDML 的数据组织

Fig. 2 Data organization of TDBDML

### 3.5 TDBDML 的时空查询功能

基于 TDBDML 系统, 就可以实现对用地状况在空间和时间上的查询, 一种典型的查询可以描述如下:

显示某地区在某一时刻满足某种条件的所有地块

为此, 系统将在属性数据库中查找时间上满足条件的地块, 然后对找出的地块的属性进行条件筛选, 得到这些地块的标识码, 去空间库中将选出的空间数据调出来。当不指明属性条件时, 查询结果将是该地区在某一时刻的状态图层。

利用 TDBDML 的时空查询功能, 可以方便地固定第一维、控制第二维, 对第三维进行查询, 从而进行耕地减少、用地类型转换等分析, 这是 SGIS 所不能完成的。

## 4 结论

(1) 数字地球以地理信息科学为基础, 并为地理信息科学的进一步发展提供了广阔的空间。

(2) 数字地球对于我国国民经济和科学技术的发展具有重大的影响。

(3) 可以初步认为数字地球是一个分布式、多尺度、多维的地理信息系统。

(4) TGIS 是数字地球研究的前沿。在现阶段可以研究 TGIS 技术、在 SGIS 的框架中用 TGIS 技术实现 TGIS 功能。

(5) TGIS 模型的研究可以本着两种思路(综合型模型、分解型模型)进行平行探索。先用分解模型思路针对典型应用领域(如土地利用动态监测工作)进行全面研究, 同时不断丰富、充实综合型模型。

(6) 在地物的空间因素中空间位置具有核心作用。与之并列的时间和属性因素是产生时间、消亡时间和核心属性。

(7) 针对土地利用动态监测工作, 作者基于空间- 时间立方体模型开发的 TDBDML 原型具有较好的空间- 时间查询功能。

(8) TDBDML 系统中的基本单元关系研究方法和时间段关系的研究结论具有广泛的适用性。

### 参考文献:

- [1] 杨崇俊. “数字地球”十问答[N]. 中国科学报, 1998-11-11.
- [2] 郭华东. 数字地球离我们并不遥远[N]. 中国科学报, 1998-11-11.
- [3] 任建民. “数字地球”对国民经济意义重大[N]. 人民日报, 1998-10-30.
- [4] 李存富. 全社会关注“数字地球”[N]. 中国科学报, 1998-11-14.
- [5] Langran G. Time in Geographic Information System. Ph. D. Thesis. University of Washington, 1989.
- [6] University Consortium for Geographic Information Science (UCGISci), Research Priorities for Geographic Information Science[J]. *Cartography and Geographic Information Systems*, 1996, 23(3): 115 ~ 127.
- [7] Donna J P, Niu Duan. An event-based spatiotemporal data model (ESTDM) for temporal analysis of geographical data[J]. *Int. J. Geographical Information Systems*, 1995, 9(1): 7 ~ 24.

## Implementation of digital earth's spatio-temporal dimensions

WANG Xiao-dong, CUI Wei-hong

(Regional Planning and Decision Supporting Department,  
Institute of Remote Sensing Application, CAS, Beijing 100101, China)

**Abstract:** The Digital Earth (DE) is based on Geographical Information Science (GISci), which is formed by the promotion of research into Global Change (GC) and Sustainable Development (SD) strategy. On the other hand, DE will accelerate the development of GISci. DE will deeply affect human society's pattern of politics, economic, science and technology. It is difficult to give a clear definition of DE at present. But the core of DE should be recognized as a distributed, multi-scale and 4.5-dimension GIS. TGIS is a key technology for implementing DE. At the moment, TGIS model can be researched according to two thoughts of comprehensive and decomposed model. Finally, TDBDML, a TGIS prototype based on decomposed thought, is described in detail.

**Key words:** the digital earth (DE); geographical information science (GISci); temporal GIS (TGIS)