

# 数字地球的体系研究

赵永平

(清华大学土木系 3S 研究中心, 北京 100084)

承继成

(北京大学遥感与 GIS 研究所, 北京 100871)

过静君

(清华大学土木系 3S 研究中心, 北京 100084)

李 琦

(北京大学遥感与 GIS 研究所, 北京 100871)

**摘 要** 通过对地学空间信息研究背景及其内容的分析, 认为数字地球是人类空间信息革命的序幕。并结合数字地球的关键技术, 提出了数字地球的全球层、区域层以及国家层的实现模式。文章还对数字地球的应用领域展开了讨论, 认为数字地球是人类下个世纪经济增长的关键, 并是人类适居社区等建设的决策信息支柱。

**关键词** 数字地球 关键技术 实现层次 应用领域 适居社区

## 1 前言

“数字地球”概念是美国副总统戈尔 1998 年 1 月 31 日在加利福尼亚科学中心首先提出的<sup>[1]</sup>。在这次由 OpenGIS 协会等组织召集的会议上, 他作了题为“数字地球—对二十一世纪人类星球的理解”的报告, 并对其概念体系和应用前景作了较详细的论述。之后, OpenGIS 等网站上对该文作了发布, 掀起了继 1992 年信息高速公路之后的人类又一大壮举, 即建设“数字地球”的空间信息革命。

事实上全球从事空间信息研究的科学家们已为数字地球的到来奋斗了数十年的历程。早在本世纪六十年代, 他们便在计算机等技术的支持下, 开始了数字地球的原型即数字地理信息革命的探索<sup>[2]</sup>。但由于早期的计算机速度以及网络体系均比较落后, 使他们只能从建立数字地球的支柱技术——遥感 (RS)、地理信息系统 (GIS) 以及全球定位系统 (GPS) 即 3S 等领域着手, 主要从机理方面对数字地球进行研究<sup>[3]</sup>。然而, 随着计算机和网络通讯技术的飞速发展以及 3S 技术的不断成熟, 到目前为止, 这场技术变革已使我们获取、存储、处理和显示空间信息的方法发生了天翻地覆的变化, 使得我们对有关我们所处的星球以及周围环境、文化现象等史无前例的海量数据的处理成为可能。然而与此同时, 我们所面对的问题却是一边是大量的信息堆积, 一边却是人们对信息的饥渴, 无法使用大量的闲置在那里未被使用的数据。因此, 面对信息化社会对空间信息的迫切需求, 以及地学信息的复杂性等特点, 使我们不得不去建立一种新的机制来处理和共享与日剧增的地球信息, 这样, 建立一个全人类的数字地球, 实现信息资源的共享与合理使用, 便很自然地成为这场空间信息革命浪潮所面临的关键问题。

## 2 数字地球的形成背景

### 2.1 地学空间信息研究的成熟

二十世纪是地学研究飞速发展的时代, 首先飞机的发明及照相机技术的改进使传统的地学空间信息获取方法得到了改善, 形成了航空摄影测量这一标志地学空间研究跨入航空时代的新的研究分支。紧接着计算机的问世和人造卫星的升空, 使遥感 (RS) 与地理信息系统 (GIS) 技术日趋成熟, 而 1993 年伴随美国全球定位系统 (GPS) 24 颗卫星的发射成功, 使“3S”一体化这一数字地球的关键技术进入了实用阶段<sup>[4]</sup>, 从而彻底改变了地学空间信息获取的方法, 为地学空间信息研究开辟了新的篇章。

伴随卫星影像分辨率的提高、计算机处理速度的加快以及卫星空间定位精度的改善, 地学空间信息获取的方法由间断性向实时性过渡, 对国民经济建设的作用也日益加重, 并在地质矿产、水资源、森林草场、海洋渔场、城市规划、气象及海洋预报等领域得到了广泛的应用<sup>[5]</sup>。与此同时, 地学以外的其它部门也开始利用地学信息从事研究和应用工作, 他们利用 GIS 指导虚拟外交、打击犯罪、保护生物多样性、预测气候变化、增加农业生产等, 而当 1992 年美国总统选举时, 民主党候选人克林顿把地理信息系统 (GIS) 技术用于总统选举<sup>[6]</sup>, 使得这一技术的魅力更加引人注目, 为数字地球计划从技术和应用上都打下了坚实的基础。

### 2.2 IT 技术的不断改善

数字地球极大地依赖于信息技术即 IT 技术的发展。首先, 近年来 IT 技术在美国国内生产总值中所占的比例在不断地上升, 由 1977 年的 4.2% 到 1990 年的 6.1% 以及 1997 年的 8.2%。同时, CPU 的价格也从 1991 年的每百万次 230 美元降低到 1997 年的 3.42 美元, 为计算机的普及得到了保证。其次, IT 业的飞速发展帮助美国降低了通货膨胀, 同时使 IT 业中从事软件和服务的人员剧增, 加快了信息共享软件的出台。第三, Internet 技术也得到了迅速的发展, 正在由 Internet1 向 internet2 过渡, 加快了影像信息和多媒体信息的传输速率。第四, 巨大的商业效益使网络购物、网络旅游、网络银行等应用日益加快, 使用 Internet 的人数也迅速增长, 估计到 2000 年时, 全球将有 10 亿人畅行在 Internet 上。第五, 美国政府为确保它在信息技术领域中的领先性, 不断加大对该领域的支持, 从信息高速公路到国家空间数据交换中心以及最近出台的适居社区计划, 每一步都推动着数字地球的快速出台。事实上, 美国经济生产力的 50% 得益于科学和技术的创新, 特别 1992 年以来, 美国经济增长的 1/3 来源于信息技术产业。

事实上, 数字地球是解决空间信息共享的一门技术, 它从空间数据的组织、管理和位置查询方面为不同的地学应用提供了保证, 并可满足空间数据的采集、转换、存储、检索、处理、分析、产生和显示等要求, 是一种特殊的信息系统。它伴随地学研究的飞速发展和 IT 技术的突飞猛进, 正在随着网络共享、虚拟现实、数字化生存、数字经济等模糊概念向一个以三维空间和多维信息处理为目的的、能够真正共享与处理实时地球信息的概念体系过渡。



数字地球

图 1 数字地球的形成背景

Fig. 1 Background of Digital Earth

### 3 数字地球的关键技术

数字地球的建设是一项巨大的跨世纪项目, 它涉及的是超海量数据, 因此, 没有任何一个政府组织、企业或学术机构可以单独完成这一工程。事实上, 它就象www一样, 需要数十万的个人、公司、大学、研究机构以及政府组织等的共同参予和辛勤劳动才能逐步完善。因此, 我们必须利用现有技术和资源去逐步建立并完善数字地球, 正如戈尔所说的“尽管这种景象如同科幻小说中描述的一样, 但建立数字地球所需的许多技术和能力已经具备或正在发展中”。<sup>[1]</sup>

从目前来看, 数字地球主要涉及的是影像和超媒体数据, 而这些数据又具有真三维显示和多维仿真特点, 可以通过它们对地球进行多分辨率的表示, 并可以在其上添加许多与我们所处的星球有关的地学数据。这样从现有的计算机技术来看, 我们目前普遍使用的与数据打交道的工具, 诸如Macintosh以及Windows等操作系统等都不可能真正地适应这一挑战。因此我们需要建立一个数字地球, 以使它具有为用户提供导航和搜索地理空间信息的能力, 同时还拥有使地理空间信息生产者发布其产品的机制。这样建立主要由一个不同分辨率尺度下的地球即“用户接口界面”、一个快速增长的网络化地理空间信息世界以及多源信息的集成和显示机制组成的数字地球便成为我们的当务之急, 而要完成这一庞大的体系所需的科学计算、海量存储、卫星图象、宽带网、互操作以及元数据等关键技术, 便是数字地球建设的核心内容<sup>[1]</sup>。

**科学计算:** 自然界所涉及的领域是包罗万象的, 我们所研究的物质的体积可以从微小的离子到巨大的天体, 物质的变化周期可以从十亿分之一秒到十亿年, 因此用传统的方法很难对其做精确的研究。而伴随计算机的问世以及高速计算机的出现, 人类便可以通过科学计算和仿真模型对地震、暴雨等自然现象进行模拟, 以进行减灾救灾。因此, 科学计算便成为数字地球模型中的主要技术, 通过它可以对不同的数据进行科学的理解, 以使数字地球发挥巨大的效益。

**海量存储:** 庞大的的信息源是构成数字地球的关键, 据初步估计, 一个数字地球可以拥有 10<sup>15</sup> 字节的信息, 并且它的信息量随着人类对地观测技术的提高会不断地增加。目前陆地卫星等传感器每天向地面传输大量的信息, 而仅美国宇航局的地球行星计划项目, 每天就为数字地球增添 1000G 的信息, 因此, 海量存储技术便成为数字地球的支柱。

**卫星图像:** 1 米分辨率的图像已在美国开始使用, 它将成为数字地球的核心内容。通过

这些信息便可以对地球进行实时观测与更新, 而它的精度如同用一个照象机从伦敦拍摄巴黎一样, 可以清楚地看到视场中汽车前灯那么宽的范围内的目标。因此, 这项神奇的技术可以使人类实现先前用航空相片可以实现的精度, 使多尺度数字地球的建立成为可能。

**宽带网:** 和网络技术的发展一样, 数字地球所需的信息也将由分布在全球各地的空间数据库组成, 它们之间通过高速网络链接在一起, 可以实现数据的无缝操作。目前美国已开始建设 10 吉/秒字节传输速率的网络, 并把千兆级传输速率作为下一代 Internet 技术的关键。因此, 要传输海量数据, 进行科学计算, 宽带网技术便成为数字地球能否走向实用的关键。

**互操作:** Internet 和 WWW 技术之所以成功, 归功于诸如 TCP/IP 等成功的网络协议的支持, 数字地球也存在这一问题。目前国际标准化组织地理信息/地球信息业委员会 (ISO/TC 211), 美国联邦地理数据委员会 (FGDC)、开放地理数据协会 (OpenGIS 协会) 等单位都在致力于这一技术的研究, 以寻求空间信息互操作的方案。

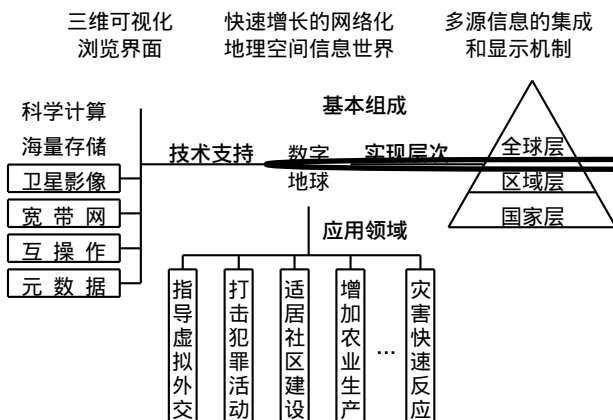


图2 数字地球的基本内容

Fig. 2 Basic architecture of digital earth

**元数据:** 元数据是“关于数据的数据”或“关于信息的信息”，它是数字地球的引擎。通过元数据可以对数字地球中自己关心的内容进行查询和浏览，并可以了解所需信息的质量、表示方式等内容。目前 ISO/TC 211 和 OpenGIS 协会等组织已经达成协议，正在制定全球空间数据元数据标准，这一体系将在 1999 年底出台<sup>[7]</sup>。

当然，除此之外，仍有许多技术在支持着数字地球的建设和发展，只是我们还需进一步研究才能逐步认识它们的重要性。但上述所涉及的六大技术目前已经具有阶段性成果，它们已为我们建立数字地球奠定了基础。因此，我们的时代已经具备了建立数字地球的能力，并且这种能力将随着时间的推移而不断地提高、完善。

## 4 数字地球的实现层次

数字地球是人类迄今为止最大的一项空间信息技术工程，因此，对于这一体系的建设，决不可急于求成，而需要从全球、区域以及国家等不同层次上去逐步研究、建立，并日趋

完善, 走向实用。

#### 4.1 全球层

数字地球在全球层的发展思想, 事实上早在 1996 年 9 月在德国波恩召开的有关全球空间数据基础设施的国际会议上便确定了<sup>[8]</sup>。在这次会议上, 经各参会国以及大西洋研究所、土地信息研究所 (L I)、Open GIS 协会以及美国联邦地理数据委员会 (FGDC) 等组织的共同协商, 通过了建设全球空间数据基础设施的建议计划, 形成了全面建设空间信息高速公路的全球倡议, 它便是数字地球的全球层雏形。

随着全球空间数据基础设施计划的出台, ISO/TC 211、Open GIS 协会等组织便全面开始了与建立数字地球相关的协议和标准的研究与制定工作。到目前为止, ISO/TC 211 已成立了框架和参考模型 (WG 1)、地理空间数据模型和算法 (WG 2)、地理空间数据管理 (WG 3)、地理空间服务 (WG 4) 以及行业及功能标准 (WG 5) 等五个工作组<sup>[9]</sup>, 并分为二十个工作小组全面制定地理信息/地球信息业的全球标准。另外, 作为全球地理信息产业最大的国际组织 Open GIS 协会来说, 它目前已与 ISO/TC 211 在诸如元数据等许多标准制定方面达成了协议, 以共同推进全球地理信息/地球信息的产业化进程<sup>[10]</sup>。因此, 这些组织的事先行动, 使目前数字地球在全球层建立成为可能。

#### 4.2 区域层

区域层的数字地球或数字区域建设, 是地区性信息共享和经济合作的重要基础。在这一领域建设中, 欧洲地理信息标准化委员会 (CEN/TC 287) 以及亚太地区空间数据基础设施常设委员会都已开展了大量的工作, 为数字地球在区域层的建设奠定了基础。其中, CEN/TC 287 成立了四个工作组, 从地理信息标准化框架 (WG 1)、地理信息模型和应用 (WG 2)、地理信息传输 (WG 3)、以及地理信息定位参考系统 (WG 4) 等方面直接参与有关数字地理信息标准的制定工作<sup>[11]</sup>; 而亚太地区空间数据基础设施常设委员会尽管不参与标准的制定工作, 但它也成立了地理信息基础设施和组织框架、地籍基础设施问题、亚太区域大地网、以及空间数据获取和共享的立法和管理计划等四个工作组, 领导着亚太地区积极地采纳与使用国际标准, 使亚太地区的空间数据能够最大程度地共享, 为多尺度数字地球的建设作了大量的准备工作。

当然, 数字区域的建设因地区的大小会有不同的划分, 它们可以是几个国家层数字地球 (或数字国家) 的组合体, 比如由加拿大、美国、以及墨西哥形成的北美数字区域; 也可以当有些地区因涉及的国家范围太大时, 由数字国家直接构成数字区域, 比如印度, 中国, 或俄罗斯等国。因此, 数字区域将作为数字地球的有力组成, 在建立时可以根据地区的大小灵活选择。

#### 4.3 国家层

数字地球在国家层或数字国家的建设, 是数字地球中相对容易实现并且非常关键的内容, 目前许多国家对信息革命浪潮中的这一问题已开始涉足。特别随着美国联邦地理数据委员会 (FGDC) 等组织的成立<sup>[12]</sup>, 使地学信息正在由先前的封闭状态向开放式过渡, 并且自从美国提出建立国家空间数据基础设施这一计划后, 大量已完成或正在制定的空间信息标准使国家层地学信息共享逐步成为现实, 即数字国家的建设已日趋成熟。

目前隶属于联邦地理数据委员会的美国国家空间数据交换中心 (Cleaninghouse) 已在 12906 号总统令的促使下, 初具规模, 具备了数字地球的原始功能<sup>[13]</sup>。用户已可以通过元数

据引擎查询自己感兴趣的地理信息, 并可以发布自己的空间数据, 使系统能够即时地得到更新。另外, FGDC 正在制定的一系列标准也将推进数字国家中微观信息的共享, 即诸如数字城市、数字县城、数字社区等内容的检索、浏览与获取。而克林顿总统的 2000 年预算又进一步加大了对这一领域的投资, 并将促使数字地球信息逐步走向家庭, 成为人们日常信息获取与使用的基本方式。

## 5 数字地球的应用潜力

数字地球的应用潜力是巨大的, 它几乎涉及到人类生活的各个方面。因此, 随着可访问和可使用的全球地理空间信息的日益增长, 以及遥感、全球定位系统等技术对信息的实时支持, 数字地球将率先在下列领域取得广泛的应用。

指导虚拟外交: 战争、领土争端、贸易冲突、甚至周边关系均是外交领域中的棘手问题, 而通过数字地球技术则可以使这些问题通过谈判的方法得到解决。当谈判双方通过数字地球用虚拟现实的方法看到所仿真的战争后果、领土争端僵持的结局、以及贸易冲突给双方造成的直接损失时, 很多问题便会在谈判桌上得到圆满的答案。

打击犯罪活动: 打击犯罪是数字地球的另一重要应用。目前美国政府正与司法部联合, 准备把区域数字地图软件用于打击犯罪, 他们把一个叫做区域犯罪分析地理信息系统的新软件, 准备作为试点发放给华盛顿市巴尔的摩区域的警察使用。该软件可以使社区的警察和居民很方便地共享有关犯罪方面的数据, 并通过对犯罪活动的分布和频率信息的分析, 可以使当局重新快速地配备警力资源, 主动地抑制与打击犯罪活动。另外, 美国加利福尼亚的盐湖城, 通过利用 GIS 分析犯罪模式和帮派活动, 已减少了该市青年人的持枪犯罪活动。而美国正在准备加大对这一领域的投资, 使其更具有广泛的应用前景。

适居社区建设: “适居社区”(Liveable Community)是戈尔副总统今年 9 月 2 日在华盛顿的 Brookings Institution 演讲时, 为美国跨世纪发展所提出的名词。即二十一世纪是一个经济增长的时代, 我们只有通过合理地规划我们的社区, 吸引大量的投资, 才可赢得经济的合理增长。在这一演讲中, 他指出政府已经准备投资加强对空间数据交换中心的使用, 使社区的居民可以通过计算机浏览到他们的公园、建筑物以及农场等信息, 甚至可以预测到他们的发展趋势。这样广大居民便可以通过数字地球参与到规划和构建他们舒适的未来社区的世纪活动中, 以建立适居社区。尽管这一应用距发展中国家的社区建设仍有一段距离, 但它的应用潜力已经给我们展现出了数字地球走向实用的潜力。

增加农业生产: 随着人口的增长和大量良田被征做它用, 二十一世纪的农业生产将成为人类可持续发展的瓶颈问题。目前美国正在以每小时 50 英亩的速度丧失良田, 按照这种速度, 美国将在下个世纪由目前的世界最大的粮食出口国成为第一大粮食进口国。为此, 通过用 GIS 等技术对这一问题的分析研究, 美国农业部已决定在 19 个州投资 1720 万美金作为试点工程, 并与地方政府匹配的 1.05 亿美金一起, 用于购买 217 个农场 53,000 英亩良田的发展权, 以便使它们仍能用于农业生产。同时, 政府还决定加大对空间信息基础设施使用的资助, 以使地方政府和居民可以利用空间信息直接参与到农业生产和农业规划之中。而政府、私人、以及商业组织正在积极推广的精细农业工程, 使农场主开始用卫星图像和全球定位系统等技术对作物的病虫害作早期监测, 并规划杀虫剂、肥料和水的合理应

用。按照这种模式,通过数字地球的模拟、仿真以及实时管理等特点,便可以进一步引导人们对农业生产的规划,并有效地提高生产效率。

另外,数字地球还将在预测气候变化、保护生物多样性、灾害快速反应,以及虚拟教育等领域具有可喜的应用潜力。

## 6 结束语

正如戈尔所说的,数字地球的建设不可能在一夜之间发生。因此,我们在数字地球的建设过程中也不可能急于求成,而需要诸如建立一个试验场所,让政府、产业界以及学术机构等众多的部门共同参与研究,来从数字地球的机理、模型以及仿真等领域进行逐步的探索、完善。

事实上,我们所处的社会已为我们提供了大量的机会,使我们处在一个空前无比的时代。首先大量的地球高分辨率卫星影像、数字地图、以及包括经济、社会和人口在内的信息,使我们的数字地球已具备了相当的规模。其次,美国NASA 一米分辨率的数字影像使我们建立数字地球至少所需的1米分辨率的全球数字地图成为可能。另外,新一代高速网络(Internet2)、Teledisk 和通讯技术的改善,使大量的地学数据正在成为网络的主流,为数字地球的应用开辟了广阔的市场。因此,可以肯定地说,建设数字地球的时代已经到来,二十一世纪人类空间信息研究与应用的热点必将是数字地球。

## 参 考 文 献

- 1 Al Gore. The Digital Earth: Understanding our planet in the 21st Century. <http://www.opengis.org/info/pubaffairs/ALGORE.htm>. Given at the California Science Center, Los Angeles, California, on January, 31, 1998
- 2 Henry Tom. The Geographic Information System (GIS) Standards Infrastructure *Standards View*, 1994(9) 133~142
- 3 陈述彭, 何建邦, 励惠国. 地球信息基理研究——跨学科研究的优先领域. 科技导报, 1994(12) 14~16
- 4 李德仁. 论自动化和智能化空间对地观测数据处理系统的建立. 环境遥感, 1994, 9(1) 1~10
- 5 徐冠华. 遥感与资源环境信息系统应用与展望. 环境遥感, 1994, 9(4) 241~246
- 6 Kleinrock L. Technology issues in the design of the NREN. In *Building Information Infrastructure*, B. Kahin, Ed., McGraw-Hill New York, 1992
- 7 承继成, 赵永平. 地理信息及其元数据标准化研究. 遥感学报, 1998, 2(2) 78~83
- 8 赵永平, 承继成等. 全球空间数据基础设施研究与展望. 科技导报, 1998(1) 17~19
- 9 ISO/TC 211 Metadata Working Document: Geographic Information- 15046 Part 15 Metadata, dated 1997- 12-22
- 10 Open GIS Consortium (OGC 1997b). The OpenGIS Guide: Introduction to Interoperable Geoprocessing, Wayland, Massachusetts. Available via the WWW as <http://opengis.org/techno/guide.htm>.
- 11 CEN/TC287 Secretariat. CEN/TC 287 Geographic Information. <http://www.statkart.no/sk/standard/cen>, 1996
- 12 Federal Geographic Data Committee. Content Standards for Digital Geospatial Metadata. <http://www.fgdc.gov/metadata>, 1997.
- 13 NSDI President, Executive Order 12906- Coordinating Geographic Data Acquisition and Access: The National Spatial Data Infrastructure. Federal Register, Apr. 13, 1994

# THE ARCHITECTURE RESEARCH FOR DIGITAL EARTH

Zhao Yongping   Cheng Jicheng   Guo Jingjun   Li Qi

( *Department of Civil Engineering Tsinghua University, Beijing 100084*

*Institute of Remote Sensing and GIS, Peking University, Beijing 100871*)

## Abstract

Through the analysis to the research background and content of geospatial information, the authors present the point that digital earth is the beginning for people to enter the spatial information age. Considering the key technologies of digital earth, the authors also give the model that digital earth should be implemented via global level, regional level and national level. In the 21st Century, it can and must be an engine for economic growth, and digital earth will act key role for the development. Digital earth will also be the main information resource for decision makers to establish liveable communities.

**Key words**     digital earth, key technologies, implement levels, application fields, liveable communities

## 作者简介

赵永平, 男, 1968 年生。1998 年 7 月毕业于北京大学遥感与 GIS 研究所并获博士学位。现为清华大学土木系 RS、GIS、GPS 研究中心博士后。主要从事数字地球、地理信息系统、空间信息标准化等方面的研究工作。已发表研究论文二十余篇。