

# 数字地球——下一代全球信息基础设施

李琦 吴少岩

(北京大学数字地球工作室, 北京 100871)

**摘要** 数字地球建立在全球网络基础设施平台之上,以时空框架整合多源海量数据,并以深度与广度开发空间信息资源为基本特征,预计将启动下一代全球信息基础设施的建设。数字地球的发展是一个演化过程,“空间基础设施”的建设是这一过程的起点。数字地球的建成有可能超越现有信息平台的“桌面”比喻,形成更加自然的、沉浸式的信息环境。数字地球作为导向目标,有着广阔的应用前景,在建设过程中所引发的技术创新将不断带动新的技术产业和服务产业的形成。

**关键词** 数字地球 空间信息基础设施 共享与互操作 空间智能体

## 0 引言

数十年来,人类不断积累着大量有关地球及其居住者的数字信息,规模巨大,故称其为“海量数据”。处理和解释这些数据成为人们面临的巨大挑战。早在1992年,美国副总统戈尔从生态环境和全球气候变化的角度提出了数字地球的概念<sup>[1]</sup>。在《濒临失衡的地球》一书中戈尔写到:

……还没有人知道如何处理每天从轨道上扫描下来的庞大数据。我们过去从未想到能收集到这么多的数据。为了整理和解释数据,我提出了一个姑且称为数字地球的计划,旨在建造一个新的全球气候模型。它能处理从不同来源收集的、与今日概念不同的数据。

然而,任何新概念的提出,无论有多么大的需求刺激,也会受技术发展水平等客观条件的制约。数字地球这一提法,首先受限于全球网络基础设施的发展水平,因而当时并未引起人们的广泛关注。近年来,由于计算机、通信、遥感和数字媒体等技术迅速发展,尤其是Internet/WWW在近几年中获得了极大成功,建造数字地球的技术基础逐渐形成。作为美国政府的白皮书,1998年初戈尔正式提出数字地球的构想<sup>[2]</sup>,应该说,这与美国的其它全球性重大科技计划是相互牵引、相辅相成的,例如,系列卫星发射计划、下一代Internet计划(NGI)、数字图书馆计划等,其目标是使美国在知识与信息资源的占有量上

持续领先,保持美国在科技、经济与国防等诸方面的优势地位。

美国政府机构围绕数字地球展开了一系列活动<sup>[3]</sup>。白宫要求NASA在联邦政府内制定一个由多部门参加的数字地球计划。哥达德空间飞行中心同USGS合作代表NASA领导这一计划。一个跨部门的数字地球工作组自1998年6月以来每两月举行一次会议,来规划政府的数字地球活动。参加该工作组的成员包括:NASA,USGS,NOAA,NSF,EPA,NIMA,DARPA,FGDC和美军工程师集团(Army Corps of Engineers)。一些非政府组织,如OGC、美国国家科学院、OhioView和ICASE等也参加了这个工作组。

如同信息高速公路计划一样,数字地球在国际上引起了强烈反响。许多国家纷纷制定自己的应对策略,并将数字地球作为重大发展机遇。加拿大、澳大利亚、新西兰、日本等许多国家已开始研究和建立各自的国家空间数据基础设施(NSDI)。跨国家的区域空间数据基础设施(RSDI)和全球空间数据基础设施(GSDI)也引起有关国家的高度重视。欧洲、亚太等地区相继建立了地区性组织,切实推动这项计划的开展,例如,欧共体的EUROGI,亚太地区的PCGIAP分别于1996年6月、7月成立,迄今已经召开了4次国际会议,使国家、区域和全球空间数据基础设施能够在区域合作和全球一体化的框架下统筹规划、协调发展,为构建多尺度“数字地球”提供统一的空间框架和基础。

## 1 数字地球与空间信息基础设施

最初构想的数字地球是地球的多分辨率、三维表示,这一表示能够嵌入海量数据。其关键目标之一是超越目前用户界面的“桌面”比喻,建成更为自然的、沉浸式的环境,支持漫游和交互地存取自然、历史、文化等信息<sup>[4]</sup>。数据的三维表示是建成沉浸式虚拟现实环境的必要条件,而多分辨率表示使用户能从全球视点迅速导航到当地街道的层次。数字地球的高端入口可以安装在博物馆、实验室、图书馆,而低端入口可接入家庭、教室。数字地球既要面向专家,又要面向公众。这就意味着数字地球提供的界面与框架要足够直观,能够成为普通用户的“虚拟学校”和“娱乐世界”;同时又要足够强大、有效,为决策者提供随时随地的决策工具,又是科研人员的超级“虚拟实验室”,能够提供丰富、有意义的结果。

人类活动同空间位置与时间参量息息相关(Georeferenced and Time-series Referenced),数字地球恰恰形象地描绘出了一个统一的时空框架(Universal Spatial/Temporal Architecture, USTA)。信息技术的发展使人们的智力与体能得到了极大延伸,但我们依然面临着两难问题。一方面,我们用各种手段产生着大量的数据;另一方面,以数据为基础的有用信息却远未满足我们的需求。事实上,从“数据→信息→知识→决策”的过程包含着许多复杂的获取、处理、转换、过滤、共享及提升过程。迄今,信息技术关注的焦点依然是解决这一过程中诸多的瓶颈问题。尽管现有技术手段和技术框架,都以不同程度、在不同层次上解决了特定种类的瓶颈问题,但依然面临着广泛数据源的融合、共享、信息提取、知识发现以及决策支持等挑战,这迫使人们去考虑新的、面向海量数据的信息整合框架。我们相信,采用数字地球提供的时空框架将会获得对信息流更为深刻的理解和更有效的把握。

很明显,任何单个组织都不具备完全的资源和能力去构筑、管理整个数字地球,需要一个全球分布式结构,由高速网络连接各种数据源,将数据送往处理中心和终端用户。大量的空间智能体<sup>[5]</sup>作为信息(或知识)代理的角色漫游于网络,寻找数据、提取信息并发现知识以满足用户查询与决策的需要。高性能计算机将融合多个数据源输入的数据,搜寻模式或趋势,并将数据转换成人们可以利用的信息和知识形式。

数字地球将是政府、科研机构、企业和个人合作共建的结果,并以演化的方式发展而成。人们已能够接受 WWW 是依照生态系统的方式演进的。狭义的系统指生物界的进化系统,广义上,生态系统的概念可以扩展到在一组操作规则支配下相互作用的进化实体集。因此,数字地球如同 WWW 一样,也将遵循生态系统的演化规律,其发展过程必将经历若干标志性状态(阶段)。我们认为,数字地球发展的初始状态是由政府主导的“空间信息基础设施”研发与建设。若使用生态系统的术语,即操作规则的形成和原始进化实体的培育状态。

建设空间信息基础设施旨在解决包括空间数据在内的多源数据融合、共享以及现有信息系统的互操作问题。现实世界中,人们面临着十分广泛的数据源和地域上分布的、异构的信息系统,各种信息采集系统时刻都在自动地产生着海量数据;大量的数据也以各种人工手段、机器辅助的手段产生着。然而,在绝大多数情况下,生产数据本身不是目的,人们需要的是:

(1) 数据经过加工处理后所暴露出的有用“信息”(因而,也就基于计算系统建立了种类繁多的信息系统或早期所称的数据处理系统);

(2) 在信息中提炼出可用于指导决策的“知识”(因而,也就建造了各种知识处理系统和决策支持系统)。信息系统通常是领域专家设计的,是专家进行决策的工具,换言之,由“信息”→“决策结论”的提升是由人工完成的:信息系统+专家经验=决策结论。因此,信息系统通常是面向领域、面向任务和面向问题的,不同的信息系统具有不同的数据源和异构的结构,数据共享与异构系统之间互操作是目前具有挑战性的全局问题。OpenGIS 是致力于应对这一挑战的国际组织。有人甚至给出了公式<sup>[6]</sup>  $OpenGIS + GGIN \rightarrow Digital\ Earth$ , 这里的 GGIN 表示全球地理空间信息网络。然而,OpenGIS 主要关注问题的技术层次,而空间信息基础设施的建设还涉及诸多的政策与法规问题。

## 2 数字地球面临的技术挑战

数字地球不会凭空产生,它依赖于许多现有技术的发展。虽然支撑数字地球的高性能并行计算、超高速网络、大规模空间数据库、可视化等技术一直独立于数字地球计划发展,但数字地球为这些技术提出了明确的需求导向。甚至数字地球的一些潜在组

成部分业已存在,但将这些组成部分连接起来的框架和技术还尚未确定下来,我们还面临着许多技术挑战。

(1) 需要一个地球系统的参考模型。建筑数字地球实际上需要人为地构造一个地球模型,这种模型有别于现有模型(地图、地球仪都是简单的地球模型,它们给人们提供的地球理解十分有限)。已有模型都是针对单一领域的需要对地球系统的简化和抽象,无法满足数字地球对综合地球观及居住者信息全方位、多层次数字表达的需要。新的模型必需适合于数字化、网络化及虚拟化表达。构造这样的模型需要将地球系统作为复杂系统来研究,探索地球系统的动力学规律与演化规律;研究地球系统统一的时空坐标体系和可计算模型。

(2) 数据管理的挑战。新一代商业卫星提供全1米分辨率影像的前景即将变为现实。美国喷气实验室的 David Curkendall 曾计算过<sup>[3]</sup>,这样的信息(包括 RGB 三个颜色通道)覆盖地球陆地表面一次,将达到一个 Peta 字节( $10^{15}$ 字节)。如果考虑多个光谱通道、多时相和多个数据源,很显然,直接存储、索引和检索如此巨大的数据将是十分棘手的问题。

(3) 对信息共享与互操作技术的需求。OpenGIS<sup>[7]</sup>试图以主流的 IT 技术及相关协议整合现有空间信息系统,以实现空间信息共享和空间信息处理功能的互操作,然而其进展情况不容乐观,这既取决于 IT 技术本身的进展,也依赖于信息系统厂商的积极推动。

(4) 对智能化软件技术的挑战。就数字地球的构建与管理而言,数据的获取、处理、传输、管理和表现等几乎各个方面都需要智能化软件技术的支撑。数字地球使人们面临着一个如此庞大的开放式网络系统,开发网络上的各种智能体取代人为工作不仅是有益的,而且是必需的,需要积极加强数据挖掘和知识发现技术的研究。然而,应该看到,从结构化软件技术进展到对象技术用了十几年时间,以智能体为标志的智能化软件技术距离成熟期还有相当距离。数字地球引发的需求很可能加快这一过程。

(5) 对信息安全技术的挑战。数字地球无疑要构筑在 Internet 平台之上。Internet 不是一个安全的网络,同时,数字地球框架及其各信息层也将带来新的安全隐患。在不安全的信息基础设施上提供安全的信息服务是具有挑战性的问题。

此外,我们还需要开发新的可视化方法整合各种类型的数据,提供查询和操纵数字世界的更为直

观的手段。

### 3 数字地球的应用前景

数字地球的应用前景十分广阔。数字地球作为导向目标,在建设过程中所引发的技术创新将不断带动新的技术产业和服务产业的形成,因此,数字地球计划一开始就应广泛吸引企业和社会公众的参与,这甚至比实现数字地球本身的目标还要重要。随着宽带网络和空间信息基础设施建设的兴起,可以预言,网络上空间信息将迅速丰富起来,空间信息的导航工具也将日益成熟,从而对教育、商业和社会生活等产生深远影响。数字地球的应用十分广泛,例如:

在教育方面,学生们可以象虚拟飞行一样迅速导航至地球上的某个区域,学习研究该地区的历史和人文情况,或者通过访问远程站点虚拟地完成野外实习课程。此外,分布在异地的多名学生,通过在线协作功能,在导师的指导下,协作完成同一个项目。

在抢险救灾管理方面,数字地球成为协调指挥、组织管理抢险资源的实时响应工具,同时又是灾后评估、规划救援的决策手段。

数字地球支持网络上构造虚拟旅游,这为旅游业和娱乐业带来了新的前景。

数字地球可以大大加强军队的作战能力。通过实时获得作战目标的三维影像,可以加强作战指挥的机动性与准确性。不同地点的指挥员可以在数字地形上合作,针对选定的战略或战术目标会商决策,制定作战计划。

数字地球的某一部分很可能象地产或房产一样也可以出售或租赁,从而产生一些商业实体提供有偿数据服务,形如“虚拟房地产业”。数字地球的某些区域的建设和控制,也可能以商业模式来运作。

数字地球将极大地支持全球变化研究<sup>[8]</sup>。数字地球的分布式数据组织结构十分有利于对全球环流模型(GCM)结果的分发和分布计算。全球变化机构利用 GCM 分析变化历史、预测可能发生的变化,而目前使用的主要气候模型都以三维空间网格作为数据表示。气候分析面临的巨大挑战是如何大幅度地增加模型的分辨率并集成区域分析。目前的网格精度一般在  $2.5^\circ$  到  $5^\circ$  之间,增加一倍的分变率将增加一个数量级的计算量。数字地球的数据模型和存取模式将分布式地存储和利用这些数据,并将结果分发到各地用户。

如同“信息高速公路”一样,数字地球是全球性

的导向目标,建设过程不会平衡发展,而与数字地球相关的技术进步也将以演化模式推进,技术成果的应用很可能以“点、线、面”的方式推广开来,“点”即“数字小区”以及“数字城市”的建设,“线”将沿着流域或经济较发达的产业带展开,而“区域”可以是一个省、国家甚至延伸到一个洲。

## 4 结 论

数字地球以空间信息资源的开发利用为主要标志,将引发下一代全球信息基础设施(NGII)建设。数字地球以政府引导的空间信息基础设施的建设为起点,在大力推进空间信息共享和现有信息系统互操作的基础上,形成广泛数据源融合、空间信息资源综合利用的基础设施。数字地球带来的技术挑战将带动一系列技术创新,新的技术成果也将促进新的技术产业和新的信息增值服务模式的形成。数字地球使人们以全局观点认识与把握我们这个世界,对

环境、气候、人口、经济、教育等全球性持续发展问题寻求解决途径。数字地球目标的实现将革新人们利用信息的方式,使信息流更加合理有效地控制物质与能量的流动方式,从而改善人们的生活质量。

## 参 考 文 献

- 1 阿尔·戈尔. 濒临失衡的地球. 陈嘉映等译,中央编译出版社,1997.
- 2 Al Gore. The digital earth: Understanding our planet in the 21st century. <http://www.digitalearth.gov/speech.html>
- 3 <http://www.digitalearth.gov>
- 4 Rockett T W. <http://www.icas.edu/RQ/archive/v7n4/DigitalEarth.html>
- 5 吴少岩,李 琦,许卓群. 数字地球与空间智能体. 中国图象图形学报,数字地球专集,1999(增刊):114~116.
- 6 Fuller G W. <http://www.opengis.org/gipsie/GGIN-FullerG-981005/index.htm>
- 7 <http://www.opengis.org>
- 8 <http://www.ai.sri.com/digital-earth/proposal.htm>

## Digital Earth: Next-Generation Global Information Infrastructure

Li Qi, Wu Shaoyan

(The CyberGIS Studio, Peking University, Beijing 100871)

**Abstract** Built on the global network infrastructure, Digital Earth embeds multi-source mass storage of data into the universal spatial/temporal architecture. Digital Earth is oriented to excavation and utilization of information resources in depth/width, and is expected to initiate the construction of the next-generation global information infrastructure (NGII). Development of the digital earth follows an evolutionary process, and constructing the “spatial information infrastructure” is a starting point of the process. Beyond the “Desktop” metaphor of the current information platform, the digital earth will form a natural, immersible information environment. As a guiding goal, the digital earth can be found its applications in almost every field. The technical innovations aroused during development of the digital earth will incessantly promote form of new technical industries and new service industries.

**Keywords** Digital Earth, Spatial information infrastructure, Share and interoperability, GeoAgent