

“数字地球”的体系结构

李琦 杨超伟 易善楨

(北京大学遥感与地理信息系统研究所 北京 100871)

摘要 根据我们一年来对“数字地球”的研究,从地理信息与信息技术发展和信息化社会的角度出发,系统地介绍了“数字地球”涉及的研究内容、关键技术、应用前景等问题,比较客观地阐明了“数字地球”的相关内容。

关键词 数字地球,空间信息基础设施,体系结构,关键技术,研究内容

1 数字地球体系结构

1998年1月31日,在加利福利亚科学中心,美国副总统戈尔作了“数字地球:理解21世纪我们这颗星球”的报告^[1]。在报告中戈尔提出了“我们需要一个数字地球,一个多分辨率、三维的虚拟地球,在数字地球中可以集成进大量的地理参考数据”。随后,各大公司、科研机构纷纷响应,决心参与数字地球的建设。各国也对此积极响应,澳大利亚宣布在2000年建成“数字澳大利亚”,美国宣布在2002年建

成“数字美国”。在我国,江总书记在接见部分两院院士和军队代表时,两次提及“数字地球”^[2]。北京大学清华大学等高校、教育部、科技部、中国科学院等数十个单位的许多专家、学者参与了数字地球的研讨^[3,4]。这些充分说明,“数字地球”已成为当今信息社会发展的必然,它已引起人类社会的广泛关注。

数字地球应包含那些内容,建设数字地球应怎样着手呢?它实际由以下4大部分构成:研究内容、关键技术、实施步骤、应用示范,如图1所示。

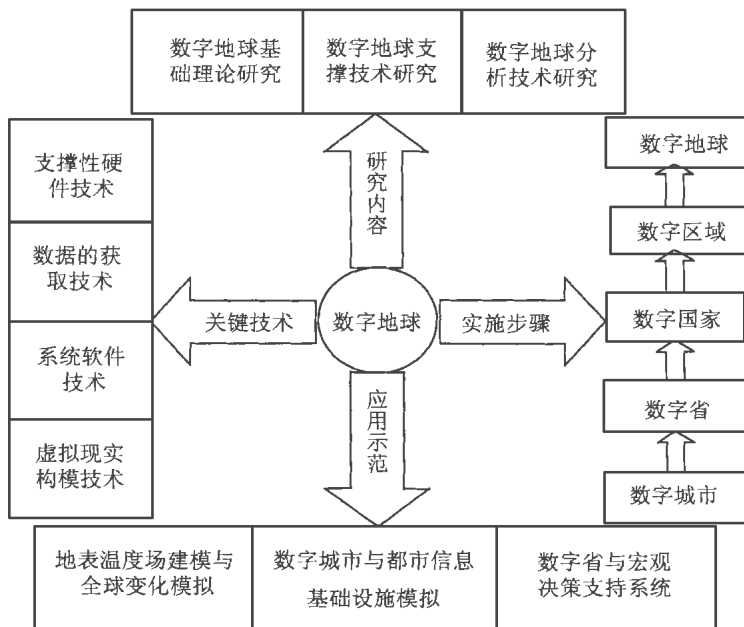


图1 数字地球的构成

Fig. 1 Structure of Digital Earth

2 研究内容

数字地球的研究内容包括要建立数字地球所需要的基础理论、技术理论。它将为数字地球应用提供构建的理论基础,提供各种知识库和信息基础。

2.1 数字地球的基础理论研究

数字地球的构建将集成进地理参考的所有信息,因此首先应将地球本身研究清楚,也就进行数字地球模拟与动力学系统的研究,它包括地球系统的复杂性与动力学模型、地球系统的对象模型与形式化表达、地球系统的数学模型与时空坐标系及地球信息机理与模型等数字地球的基础研究,它们之间

的关系如图 2 所示(本文中所有图中的箭头方向都表示具有支持关系)。

其中地球系统的复杂性与动力学模型是研究与地球系统本身有关的各种复杂的全球性变化模型,它将为数字地球的全球应用和抽象出数字地球的信息模型奠定基础。地球系统的数学模型与时空坐标系研究是建立一套可以描述地球上的各种地理参考的数学模型。地球系统的对象模型与形式化表达则是对地球系统这一实体进行抽象,以得到可以用地球系统的数学模型与时空坐标系来表达的地球信息模型。地球系统信息机理与模型是在前面 3 个方面研究的基础上建立一套地球系统的信息机理与模型。

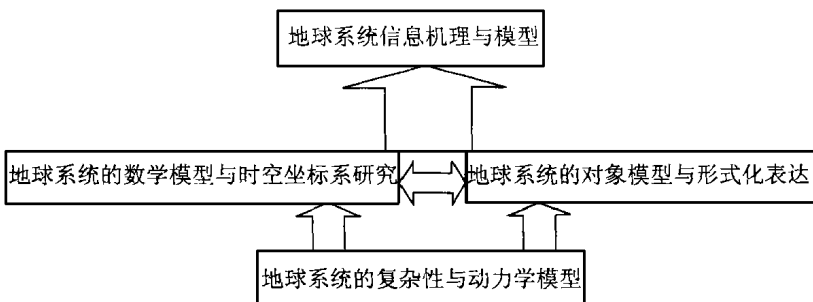


图 2 数字地球基础研究内容及其相互之间的关系

Fig. 2 The fundamental research contents of Digital Earth and their inner-relationship

2.2 数字地球的支撑技术研究

数字地球的支撑技术研究包括系统模型与数据结构、智能数据采集与存储模型、空间数据库体系结构、智能搜索代理模型、嵌入式数字地球对象组件模型与对象建模语言与环境。它们之间的关系如图 3 所示。

2.3 数字地球的知识提取技术研究

数字地球并不是将信息原样提供给用户,它要经过一定的处理,进行知识提取以支持决策系统的需要,这也是数字地球的魅力所在。进行这些知识提取的技术研究包括:数字地球的神经网络模型、数字地球的网络行为模型、数字地球的进化机制与模型、数字地球分布式对象服务模型等。它们是当今前沿问题,是与应用专题相连接的纽带和桥梁,它们之间的关系如图 4 所示。

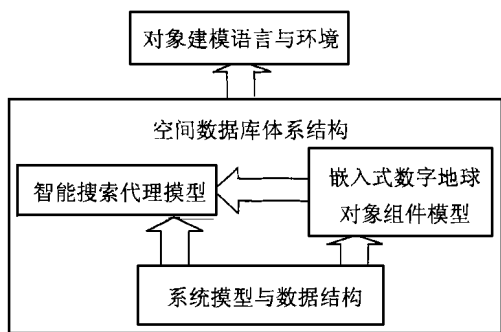


图 3 数字地球的支撑性技术研究内容及其相互之间的关系

Fig. 3 The key technique research contents of

3 关键技术

3.1 支撑性硬件技术

数字地球中包含了海量的信息,对这些信息进行存储需要海量存储设备,由于数字地球所支持的是基于全球信息的复杂应用(包括一般查询、管理、决策支持),所以它必然涉及大量的数据访问、数据分析和数据传输以及数据的表现。所有这些都要求有高速的计算设备、高速的传输设备和大容量的存储设备作为基础。

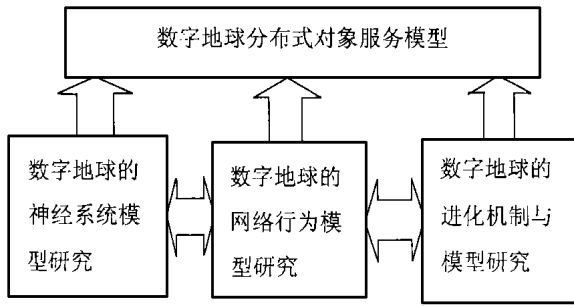


图 4 数字地球的知识提取研究内容及其相互关系

Fig. 4. The knowledge acquisition research contents of Digital Earth and their inner relationship

3.2 数字地球的数学框架与时空坐标系

数字地球的数学框架与时空坐标系的研究将数学科学、系统科学、地球系统科学和地理信息科学等多个学科、多个领域的知识结合起来用于研究地球动态演化过程的描述及其表现的数学理论及计算实现方法。数字地球属性及演化过程,是构造及应用数字地球的基础。数字地球基本属性及动态过程的数学描述,是建立属性描述及过程建模的依据。它主要包括:数字地球的数学框架(数字地球建模的形式化框架、数字地球信息圈的数学框架、数字地球元信息系统的数学框架、数字地球动态演化的数学框架)及数字地球的时空坐标系(数字地球的几何参考体系、数字地球的空间参照坐标体系、数字地球的投影坐标体系、数字地球的投影模型体系、数字地球多维时空数据的代理模型、数字地球多维坐标系形式框架)

3.3 数字地球的对象模型与形式化表达语言

数字地球的对象模型和形式化表达建立的公共模型框架包括地球信息数字化表示的概念化和数学化方法;支持地理信息访问、处理、共享和发现等需求的开放的数字地球公共模型。它独立于具体的分布计算平台,在开放的信息技术平台上支持异构型海量地球信息的互操作。这项工作应包括以下方面的内容:数字地球的地球系统概念模型、数字地球的地球系统对象模型、以形式化的方法和技术为数字地球对象模型提供其形式化表达、对象模型的一致性分析、对象模型实现的确认。

3.4 数字地球的共享机制与互操作规范

为在数字地球中实现异构分布式各类空间数据

资源的共享,提供开放性的、可交互访问的空间操作服务,屏蔽现实世界中不同系统和平台之间的数据与操作的差异,为数字地球系统构建了一个开放的、分布式的、跨平台的、可交互操作的虚拟逻辑平台。数字地球的共享机制和互操作规范包括以下技术:数字地球框架下异构融合、分布的海量空间信息的方法和相应的实施标准或规范、空间信息共享的政策法规体系、空间元数据标准规范、共享空间信息的多维表示和存储技术、空间信息的多维互操作技术、空间信息共享的网络运行、通讯协议、管理体系及其安全技术、数字地球中重要节点的空间信息交换中心的组成和建立技术、基于 Open GIS 规范的多维扩充、用 UML 对多维空间对象进行建模的技术、用 Z 语言(一种形式化规范语言)对多维空间对象进行形式化表达、CORBA/DCOM 的对象机制和服务机制。

3.5 空间智能体

数字地球可以看作是构筑于 Internet 之上的以“空间智能体(GeoAgent)”为主要种群的高级生态系统,亦即“数字生态系统”,是通过包含卫星数据在内的多种数据源的融合,对地球进行的全新数字刻画与描述,是对地球上信息的深度发掘与知识的再发现、再表达。

将数字地球看作数字生态系统,首先由于作为其基本单元的空间智能体的自适应能力,同时数字地球依赖的全球网络空间(Cyberspace),包含了生物群体的典型特征:网络节点是信息的处所,也是空间智能体的处所,具备多样性的空间智能体构成了超大规模的群体。空间智能体的信息交换、互操作、复制、淘汰、导致的信息丰富与群体膨胀,构成一幅活生生的进化图景。空间智能体技术包含下述:空间智能体的体系结构、空间智能体分类准则及其与空间对象(GeoObjects)的关系、空间智能体之间的通信语言(GeoACL)、空间智能体的空间推理引擎与进化引擎、空间智能体的群体进化模型、数字生态系统的网络进行动力学、数字生态系统应用于智能数据获取、信息融合、信息提取与知识发现、空间智能体对智能决策过程的应用技术。

3.6 数据的获取技术

虽然目前我们已经拥有了海量的数据,但良好运转的数字地球应该能够不停地适时增加反映地球和我们对它的认知信息,这需要优秀的数据获取技术。大量的人造地球卫星组成的对地观测系统为我

们适时获取这些信息奠定了基础,同时我们需要从其它方式获取我们感兴趣的事物的信息,这要求我们研制各种智能传感器和相应的数据处理技术,也就是在数字地球中采用全智能化的数据获取技术。例如在利用卫星进行遥感影像获取和处理中采用全智能的智能技术。

3.7 系统软件技术

要使数字地球良好运转,必须有保证它运转的软件,这需要定义良好的软件接口、智能的软件构件和良好的软件辅助开发工具。目前在这方面国内外都取得了长足的进步,但有待于在互操作、元数据标准体系的技术保证下开发数字地球软件。

3.8 虚拟现实构模技术

虚拟现实的构模技术是数字地球的用户界面,它直接关系到数字地球的成败,因此具有非常重要的意义。数字地球的虚拟现实构模环境应能进行多维动态时空的信息可视化;三维的空间可视(如DEM与遥感影像的叠加)、动态的时间维可视化和具有任意维的属性可视化功能。为满足数字地球的缩放需要,构模环境应能支持无级比例尺的多精度、大跨度数字地面模型。为达到这些要求,数字地球的虚拟显示构模环境应是基于多重智能体的、面向时空动态多维信息、支持无级比例尺的基于Internet的虚拟构模环境。目前我们正在进行这方面的研究。

4 应用

数字地球要面向地球上的所有公民服务,它能满足人们的一切计算机化信息需求。按服务的复杂程度,可以将数字地球的应用划分为3类:面向公众的普通信息检索浏览服务、面向管理办公和科学研究的一般管理分析服务和面向决策者的决策支持模拟服务。例如在以下各方面的应用:

4.1 数字城市

在数字地球中,数字城市将如同它在现实生活中的经济、政治、文化中心的地位一样重要,我们可以将与城市有关的信息全部数字化,建立起一个数字城市。如美国的COLONY市就将本市的相关信息数字化提供给互联网用户(<http://www.colonycity.com/>)。

4.2 精细农业

数字地球将为我们提供农业生产的全自动化,农业只需在家里的电子显示屏前就可以通过卫星影像来实时观测农作物的生长情况,通过数字地球来咨询向世界上最优秀的农业专家询问农作物在生长中出现的疑难,在确知情况后,可以通过数字地球来启动农田中的施肥、除草、浇灌等设备,实现农作物生长的全自动监控,从而达到精细农业。

4.3 电子商务

数字地球将为我们提供一个足不出户的购物环境。我们可以在家里选择所需要的商品,甚至可以通过数字地球的虚拟现实技术先体验一下商品再购买,如今已有许多电子商务的雏形,如网上购书的Amazon公司(<http://www.amazon.com/>),我们可以在互联网上挑选书籍,通过互联网购买,剩下的只是坐在家等邮差将书送到我们手上。

4.4 数字大学

数字地球还可以支持高等教育的普及,将大学数字化,对大学的图书馆藏书进行数字化,将大学里积累的知识数字化,将每位教授上课的实景送上数字地球,学生就可以坐在家里的计算机屏幕前接受高等教育。此时,每个人都可以选择自己最感兴趣的学科进行学习,并可以选择最好的教授。真正实现高等教育的普及与平等。如哈佛大学的Web站点(<http://www.harvard.edu/>),人们可以从这里了解到关于哈佛大学的一般情况,可以阅读哈佛大学的某些藏书,并可在此查看哈佛大学的科学研究等情况。

4.5 数字化协同工作

在社会化大生产的今天,人们所构造或创建的是一个巨大的巨型系统,它要求许多人一起来完成一项工作,这要求人们之间密切配合,即协同工作,正如波音公司首席执行官康迪特先生所说:“波音公司的工程师们最早在聚脂薄膜上用钢笔和墨水设计出二维飞机,现在用电子计算机设计三维飞机。今天,我只是击打键盘就能直接与15万名员工交流,技术使我们联系更紧密,想象力和创新已经使我们世界加速变化。最终,新的波音飞机将是一个空中飞行的办公室,可以与世界上任何地方直接快速联系。”

4.6 数字战场

以数字地球支撑的数字战场,指挥官只需坐在办公室里就可以详细地全面掌握整个战场的进行情况,对每一个士兵都可以精确地给出具体的指令,如指挥官只需坐在五角大楼一个办公室的屏幕前就可以通过数字地球来指挥每一个作战者。

对应用的研究,可以从3个方面来进行,一是全球性应用,如地表温度场建模与全球变化模拟这种涉及全球的应用,二是区域性应用,如数字海南与宏观决策支持系统,三是城市应用,如数字上海与都市信息基础设施模型。这样符合数字地球的实施步骤策略(如图1所示)。

5 前景与展望

数字地球的建成将为人类构造一个信息化的地球,形成一个完整的人类信息生活空间。在数字地球中,我们每个人都可以随时获取他需要的具有相应权限的一切数字化信息,人们可以利用它协助处理日常事务、从事科学研究、进行企业的有效管理和各种决策。同时,数字地球的建设并不是一蹴而就的,它的建设涉及到几乎人类的所有学科知识,从而

要求科学家们不断地去深入探索、研究,在建设数字地球的同时促进本学科的发展,数字地球也将为他们的科学研究提供一个良好的信息环境。随着数字地球的建成,人们会发现生活中的一切都将发生革命性的变化,它将成为人类正式进入信息社会的标志。

参 考 文 献 (References)

- 1 Al, Gore. Digital Earth: Understanding our planet in the 21st century. 1998, 1, 31.
- 2 Jiang Zheming. Speaking at the conference of members of CAS and CAE on June 1st, 1998. People Daily, 1998-8-11. [江泽民. 1998年6月1日在两院院士大会上的讲话. 人民日报, 1998-8-11.]
- 3 CyberGIS Studio, Peking University, Project Proposal Paper for Digital Earth, 1998. 6.
- 4 <http://www.digitalearth.net.cn/default.htm>.
- 5 The Open GIS Consortium Technical Committee. The OpenGIS Guide, June 3, 1998.

作 者 简 介

李琦,女,1955年生,北京大学遥感与地理信息系统研究所教授、博士生导师。中国图形图像学会技术委员会主任委员。研究领域:空间信息科学。已在国内外刊物上发表论文50多篇。

Architecture of “Digital Earth”

LI Qi, YANG Chao-Wei, YI Shan-Zhen

(Institute of RS and GIS, Peking University, Beijing, 100871)

Abstract Since the Digital Earth been advanced by Al Gore—the vice president of USA on Jan. 31 1998, the scientists, entrepreneurs and politicians of many countries have responded actively to it, they all proposed a digital earth from their own point of view, but all of them didn't give a system and overall vision. Based on the development of geographic information processing and information technology and the requirement of information society, a system and relatively overall description of digital earth is given in this paper, the research contents, key technologies and application prospect are covered. In this way, a relatively objective description of digital earth is given.

Key words Digital Earth, Spatial information infrastructure, Architecture, Key techniques, Research contents