

p208
L31

数字地球基础丛书

空间信息系统的集成与实现

李德仁 关泽群 著

国家自然科学基金重点项目(编号:49631050)资助

武汉测绘科技大学出版社

(鄂)新登字 14 号

图书在版编目(CIP)数据

空间信息系统的集成与实现/李德仁,关泽群著. —武汉:
武汉测绘科技大学出版社,2000.3
(数字地球基础丛书)

I. 空… II. ①李…②关… III. ①数字地球 ②空间信息系统 IV. P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 14779 号

责任编辑:徐方 董巍 任翔 封面设计:曾兵

武汉测绘科技大学出版社出版发行

(武汉市珞喻路 129 号,邮编 430079)

E-mail: dzcb@wtusm.edu.cn

武汉工业大学出版社印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:15.75 字数:343千字 插页:8

2000年3月第1版 2000年3月第1次印刷

定 价:30.00元(平) 45.00元(精)

前 言

近二三十年来,现代空间信息的综合应用有了飞速发展,使得人们能够及时和连续不断地获得有关地球表层及其环境的大量几何与物理信息,形成地球空间数据流和信息流,从而促成了地球空间信息科学技术体系的产生。在这个技术体系中,最基础和基本的技术核心是“3S”技术及其集成。所谓“3S”是全球定位系统(GPS)、地理信息系统(GIS)和遥感(RS)的统称。没有“3S”技术的发展,现实变化中的地球是不可能以数字的方式进入计算机网络系统的。

“3S”集成是指将上述三种对地观测新技术及其它相关技术有机地集成在一起。这里所说的集成,是英文 Integration 的中译文,是指一种有机的结合、在线的连接、实时的处理和系统的整体性。GPS、GIS、RS 集成的方式可以在不同技术水平上实现。

“3S”集成包括空基“3S”集成与地基“3S”集成。空基“3S”集成:用空—地定位模式实现直接对地观测,主要目的是在无地面控制点(或有少量地面控制点)的情况下,实现航空航天遥感信息的直接对地定位、侦察、制导、测量等。地基“3S”集成:车载、舰载定位导航和对地面目标的定位、跟踪、测量等实时作业。

“3S”的提法虽已经广为流传,但由于将空间定位技术(目前主要指 GPS 技术)、遥感技术和地理信息系统技术集成为一体,不论从理论上还是在实践中,都是一项难度很大的工作,即使在发达国家也仅属起步阶段,而国内实际上还处在理论探讨阶段。鉴于这种原因,为了跟上国际在该领域的发展,结合过去 10 年中武汉测绘科技大学在 GPS 辅助空中三角测量、国产 GIS 软件 GeoStar 和 CCD 实时立体摄影测量方面的成果,借助测绘遥感信息工程国家重点实验室的支持,在国家自然科学基金重点项目“遥感、地理信息系统和全球定位系统集成理论与关键技术”的资助下,以李德仁院士为课题主持人,由数十名教授、副教授、博士生和硕士生组成课题组,对空间信息系统的集成与实现进行了深入的理论探讨和一系列的实验。经过数年的艰苦努力已取得重要进展:

(1)在 GIS 与 RS、GPS 与 RS、GPS 与 GIS 两两的集成理论与关键技术方面已取得一系列成果;

(2)已对 GPS+RS+GIS、GPS+GIS+CCD 的整体集成开展了有成效的理论与实际工作;

(3)在空间信息的融合、空间概念的形成与联想、空间知识发现与数据挖掘等方面做了大量开拓性的工作,它们对促进空间信息系统的集成有重要作用。

以上成果已被整理成 50 余篇论文在国内外的刊物或学术会议上公开发表,它们涉及地球空间数据和信息从采集、处理、量测、分析、管理、存储到显示和发布的全过程,促进了地球空间信息科学理论框架的完善、技术体系的建立和应用领域的形成。在此基础上,经过进一步加工和系统化,形成了空间信息系统的集成与实现一书。

本书大致可分为五个部分。在绪论部分主要阐述了地球空间信息科学技术体系,及作为其基本技术核心的“3S”技术及其集成的理论与关键技术。

由于空间信息的融合、空间概念的形成与联想、空间知识发现与数据挖掘等是空间信息系统的集成与实现中的重要方法或手段,因而在第 2 至第 4 章作了详尽的介绍。

从第 5 章到第 8 章主要就“3S”中的集成问题进行了探讨,主要涉及:车辆定位与自动导航,以及道路信息和其它环境信息的采集;将 GPS 动态相位差分技术用于航空/航天摄影测量进行无地面空中三角测量;利用 RS 数据和 GIS 数据快速发现空间对象的变化,同时,对 GIS 数据库进行快速更新;从 GIS 数据中发现知识用以辅助遥感数据处理;车载 GPS、GIS 与 CCD (包括其它测绘传感器)集成系统等。

以空间定位技术、遥感技术和地理信息系统技术为基础的集成数据库技术是空间信息集成中的热点问题之一,它包括 GPS 数据、RS 数据和 GIS 数据的一体化存贮与管理,也包括利用遥感数据制作导航数字影像地图以及基于数据集成的 3D 可视化模型。第 9 章专门就这方面内容作了介绍。

最后一章介绍了目前国际上刚刚开始但讨论很热烈的地球空间数据框架等问题,并就它们与“3S”的关系作了阐述,同时介绍了我们在这方面的的工作。

可以看出,空间信息系统的集成与实现一书是集体智慧的结晶,是数十名教授、副教授、博士生和硕士生辛勤劳动的成果。其中,李德仁院士不仅是整个研究的主要负责人,而且对全书进行了缜密的构思与组织,关泽群教授在他的指导下执笔完成此书。陈小明博士、仲思东教授、龚健雅教授、袁修孝教授、邸凯昌博士等为本书的完成也起到了重要的作用。

本书的出版,得到了武汉测绘科技大学出版社任翔先生的支持,在此一并致谢。

我国在空间信息系统集成领域的研究工作经过不懈努力取得了许多优秀成果,培养了一大批具有较高素质的中青年学术骨干,为学科的发展作出了自己的贡献。但是,我们必须清醒地认识到,由于在传感器、计算机、通讯以及综合国力等方面与先进国家存在较大差距,使得在相当长的一段时间在空间信息系统集成集成若干方面难以摆脱落后于国际先进水平的状况。为此,我们将此书献给广大的读者,愿与大家一起,通过发挥自己的优势,不断努力,逐步缩小与国际先进水平的差距,为我国的经济建设、国防建设和社会发展做出自己的贡献。

作 者

2000 年春于武昌

第1章 绪论

早在 20 世纪 70 年代,集成概念已非鲜闻,集成技术也逐步得到应用。但用现代系统科学与信息技术的观点来解释集成思想,并把这种思想用于遥感(RS)、地理信息系统(GIS)和空间定位系统(主要指 GPS 全球定位系统)的集成,形成一个较完整的系统集成理论、技术与方法体系,则是空间信息领域的专家学者近年来一直在致力探索的事情。空间信息集成系统的核心在于系统集成,实现各单元信息系统的异构同化和同构整体化;这是一个多学科多技术相互渗透的并行、重构与协同过程,是多方法多机制相互融合以产生突破与聚变的过程。本书将从空间信息系统的集成与实现的角度就这方面的问题作系统的探讨。

1.1 “Geomatics”与多学科集成^[1]

1.1.1 “Geomatics”一词的出现过程

“Geomatics”一词最早于 60 年代末期出现在法国,法国的大地测量和摄影测量学家 Bernart Dubuisson 于 1975 年将该词的法文“Geomatique”正式用于科学文献。1990 年 Gagnon P.^[2]将“Geomatics”定义为“利用各种手段,通过一切途径来获取和管理有关空间基础信息的空间数据部分的科学技术领域”。随即,加拿大、澳大利亚、英国、荷兰、香港等国家和地区的一些高等学校的测量工程系、政府机构、杂志等出现了更名热潮。例如,加拿大拉瓦尔大学、卡尔加里大学、新不伦瑞克大学将测量工程系改名为“Geomatics”系,加拿大学者 Groot 到荷兰 ITC 任教,将测量学、摄影测量学、遥感图像处理、地图制图、土地信息系统以及计算机科学几个教研室合起来成立了“GeoInformatics”系。同年,加拿大能源矿产资源部将其测绘和遥感局改名为“Geomatics Canada”。加拿大的测量员杂志和军事测绘杂志也改了杂志名。目前连曾对“Geomatics”持观望态度的德国和美国也开始接受“Geomatics”一词。

从以上“Geomatics”一词出现的过程可以看出,“Geomatics”反映了现代测绘科学、遥感和地理信息学等学科与现代计算机科学和信息科学相结合的多学科集成以满足对空间信息要求的趋势。

1.1.2 国外学者、组织对“Geomatics”给出的各种定义

现在让我们分析一下国际上对“Geomatics”给出的各种定义并展开一些讨论。

首先是 Groot 教授的定义:“Geomatics 是研究空间信息的结构与性质,信息的获取、分类和合格化以及存储、处理、描绘、传播和确保其优化使用的基础设施科学技术”。

卡尔加里大学 Schwarz 教授的定义是:“Geomatics 是一个现代术语,描述一种采集、分析、表示、存储、发布和管理与空间分布有关数据的集成方法”。由于该教授是大地测量学家,他又强调指出:“天文测量和大地测量学,由于使用了地面、舰船、航空和太空平台传感器(不仅仅是影像传感器)来采集各种类型的空间数据,也应当包含在 Geomatics 之中”。

加拿大能源矿产资源的定义是:“Geomatics 是我们新名字的一部分,因为它是我们各学科的一个简单的集合词。这些学科是测量学、制图学、遥感、地图学、摄影测量学和地理信息系统。所有这些学科都与地理信息的采集、处理、解译和发布有关”。

澳大利亚新南威尔士大学 Trinder 教授的定义是:“Geomatics 是一个现代科学术语,用以表示量测、分析、管理、存储和显示基于地球数据(即通常说的空间数据)的描述和位置的集成方法。这些数据来自各种数据源,包括地球轨道卫星、空载和舰载传感器及地面仪器。利用计算机硬件和软件,借助现代信息技术来处理和管理空间数据。它的应用覆盖所有依赖空间数据的学科,包括环境研究、规划、工程学、导航、地质和地球物理学、海洋学、国土开发、土地经营和旅游学”。

新西兰国际 Geomatics 杂志的有关定义是:“Geomatics 是一个集合词,代表了所有与采集、处理、查询、表示和管理与空间信息的学术活动”。

西班牙国家团体的定义是:“Geomatics 是一个新的学科,它包括了所有的用电子计算机处理地理信息的各种科学与技术。它覆盖了大地测量学、地形学、遥感、摄影测量、地理信息系统(GIS)、土地信息系统(LIS)、自动测图和市政工程管理(AM/FM)、重力测量、地震学、水文学、地籍学和其它地球科学”。

美国 Webster 字典(第三版,1993年)所作的定义是:“Geomatics 是地球的数学,它强调的是所有现代地理科学的严格技术支撑”。

从以上七个由不同国家的不同专家给出的定义可以看出,以下几个方面是一致和公认的:

(1)“Geomatics”涵盖了现代测绘科学的全部内容;

(2)“Geomatics”强调了对地球空间数据和信息的计算机技术处理;

(3)“Geomatics”强调了相关学科的综合,强调对地球空间数据(Geo-Spatial data)的集成处理,强调从数据采集、处理、量测、分析、管理、存储、显示到发布的信息流全过程。

各种定义中也有一些差异。有些定义中用地理信息(Geographic information),有些用空间信息(Spatial information),也有用基于地球的数据(Earth based data)。所涵盖的学科有的定义多,有的定义少,特别是 Webster 字典简单地用地球的数学来定义“Geomatics”,独具特

色。

到了1996年,国际标准化组织(ISO)终于给出了“Geomatics”的定义:“Geomatics is a field of activity which, using a systematic approach, integrates all the means used to acquire and manage spatial data required as part of scientific, administrative, legal and technical operations involved in the process of production and management of spatial information. These activities include, but are not limited to, cartography, control Surveying, digital mapping, geodesy, geographic information systems, hydrography, land information management, land surveying, mining surveying, photogrammetry and remote sensing”。ISO还给出以下的简明定义:“Geomatics is the modern scientific term referring to the integrated approach of measurement, analysis, management and display of spatial data”。

1.1.3 “Geomatics”应译为地球空间信息学

基于上述论述,作者有理由认为“Geomatics”一词应译为“地球空间信息学”。

从国际标准化组织(ISO)给出的定义可明显看出:

(1)“Geomatics”处理的是空间数据(Spatial data)和空间信息(Spatial information);

(2)“Geomatics”作为一个科学术语,所涉及的是采集、量测、分析、存储、管理、显示和应用空间数据的集成方法,属于现代的空间信息科学技术;

(3)“Geomatics”所涵盖的学科范围包括(但不限于)地图学、控制测量、数字测图、大地测量、地理信息系统、水道测量、土地信息管理、土地测量、摄影测量、遥感、重力测量和天文测量。所采用的方法有星载、机载、舰载和地面数据采集方法,属于现代测绘科学与计算机信息科学的集成,归属于空间信息科学。

从“Geomatics”的构词过程可以看出,它分为两部分“Geo”和“matics”。“Geo”可以理解为地球或地学,不宜理解为地理,更确切地应理解为 Geo-spatial 的缩写,宜译作地球空间;“matics”可以理解为 informatics 或 mathematics 的缩写,宜译为信息学。所以,“Geomatics”宜译为“地球空间信息学”。

国内文献曾将“Geomatics”译成“地理信息学”或“地球信息学”。作者认为这两种译法均不够准确,不能反映国际标准化组织和各国测绘学家对“Geomatics”给出的定义。地理学以人与自然关系为中心,研究四大圈层(大气圈、水圈、生物圈和岩石圈)之间的相互作用。地球空间信息并不能涵盖全部地理信息,尤其是人文地理方面的信息。而且国际地理学界没有利用“Geomatics”这个词,也没有给“Geomatics”下过正式的定义。

“Geomatics”不宜译作“地球信息学”的理由是明显的。地球作为一个复杂的巨系统,需要获取和利用地球信息来研究它。从目前地球科学的发展看,地球信息科学除了包括地球空间信息学外,还包括地质学、地球物理学、地球化学、大气科学、气象科学、生态学、环境科学等诸多地球科学学科提供的关于地球的信息,包括过去的、现在的和未来的地球信息。以全球定位

系统 (GPS)、航空航天遥感 (RS)、地理信息系统 (GIS) 和计算机技术、通讯技术为主要手段的地球空间信息科学, 只能以地球的数学这种形式来为地球信息科学提供空间基础数据。所以, 地球空间信息科学是地球信息科学的组成部分, 为之提供空间框架。以上说明将“Geomatics”译为“地球空间信息学”充分反映了国际标准化组织 (ISO) 对“Geomatics”所定义的完整内容, 反映了传统测绘科学与遥感、地理信息系统、多媒体通讯等现代计算机科学和信息科学的集成。其意义远远超出了讨论一个名词译法的范围, 而是标志着推动地球科学研究从定性走向定量、从模拟走向数字、从孤立静止走向整体动态乃至实时的信息化过程。它将成为我们探讨空间信息系统的集成与实现问题的出发点。

1.2 地球空间信息学与数字地球^[3,4,5]

1.2.1 地球空间信息学

地球空间信息科学 (Geo-Spatial Information Science 简称 Geomatics) 是以全球定位系统 (GPS)、地理信息系统 (GIS)、遥感 (RS) 等空间信息技术 (简称 3S) 为主要内容, 并以计算机技术和通讯技术为主要技术支撑, 用于采集、量测、分析、存贮、管理、显示、传播和应用与地球和空间分布有关数据的一门综合和集成的信息科学和技术。它是地球科学的一个前沿领域, 是地球信息科学的重要组成部分, 是数字地球的基础。

1) 地球空间信息学的形成

随着社会和经济的迅速发展, 人类活动引起的全球变化日益成为人们关注的焦点。从最近几个世纪的历史看, 人类活动对生态环境的影响主要是向变坏的方面发展。随着世界人口的急剧增加, 造成资源的大量消耗、生态环境恶化也成为有目共睹的事实。地球及其环境是一个复杂的巨系统, 为了解决上述问题, 要求以整体的观点认识地球。随着人类社会步入信息时代, 有关地球科学问题的研究需要以信息科学为基础, 并以现代信息技术为手段, 建立地球信息的科学体系。地球空间信息科学, 作为地球信息科学的一个重要分支学科, 将为地球科学问题的研究提供数学基础、空间信息框架和信息处理的技术方法。

地球空间信息广义上指各种空载、星载、车载和地面测地遥感技术所获取的地球系统各圈层物质要素存在的空间分布和时序变化及其相互作用信息的总体。“地球空间信息科学”作为信息科学和地球科学的边缘交叉学科, 它与区域乃至全球变化研究紧密相连, 是现代地球科学为解决社会可持续发展问题的一个基础性环节。

空间定位技术、航空和航天遥感、地理信息系统和互联网等现代信息技术的发展及其相互间的渗透, 逐渐形成了地球空间信息的集成化技术系统。近二三十年来, 这些现代空间信息技

术的综合应用有了飞速发展,使得人们能够快速及时和连续不断地获得有关地球表层及其环境的大量几何与物理信息,形成地球空间数据流和信息流,从而促成了“地球空间信息科学”的产生。

地球空间信息科学不仅包含现代测绘科学的所有内容,而且体现了多学科的交叉与渗透,并特别强调计算机技术的应用。地球空间信息科学不局限于数据的采集,而是强调对地球空间数据和信息从采集、处理、量测、分析、管理、存储、到显示和发布的全过程。这些特点标志着测绘学科从单一学科走向多学科的交叉;从利用地面测量仪器进行局部地面数据的采集到利用各种星载、机载和舰载传感器实现对地球表面及其环境的几何、物理等数据的采集;从单纯提供静态测量数据和资料到实时/准实时地提供随时空变化的地球空间信息;将空间数据和其他专业数据进行综合分析,其应用已扩展到与空间分布有关的诸多方面,如:环境监测与分析、资源调查与开发、灾害监测与评估、现代化农业、城市发展、智能交通等。

推动地球空间信息科学发展的动力有两个方面:一是方面现代航天、计算机和通讯技术的飞速发展作为地球空间信息科学的发展提供了强有力的技术支持;另一方面全球变化和社会可持续发展日益成为人们关注的焦点,而作为其主要支撑技术的地球空间信息科学必然成为优先发展的领域。具体表现为:地球空间信息科学理论框架逐步完善,技术体系初步建立,应用领域进一步扩大,产业部门逐步形成。

2) 地球空间信息学的理论基础

地球空间信息科学理论框架的核心是地球空间信息机理。地球空间信息机理作为形成地球空间信息科学的重要理论支撑,通过对地球圈层间信息传输过程与物理机制的研究,揭示地球几何形态和空间分布及变化规律。主要内容包括:地球空间信息的基准、标准、时空变化、认知、不确定性、解译与反演、表达与可视化等基础理论问题。

(1) 地球空间信息基准

地球空间信息基准包括几何基准、物理基准和时间基准,是确定一切地球空间信息几何形态和时空分布的基础。地球参考坐标系轴向对地球体的定向是基于地球自转运动定义的,地球动力过程使地球自转矢量以各种周期不断变化;另一方面,作为参考框架的地面基准站又受到全球板块和区域地壳运动的影响。因此,区域定位参考框架与全球参考框架的连接和区域地球动力学效应问题,是地球空间信息科学和地球动力学交叉研究的基本问题。

(2) 地球空间信息标准

地球空间信息具有定位特征、定性特征、关系特征和时间特征,它的获取主要依赖于航空、航天遥感等手段。各种遥感仪器所感受的信号,取决于错综复杂的地球表面和大气层对不同电磁波段的辐射与反射率。地球空间信息产业发展的前提是信息的标准化,它作为一种把地球空间信息的最新成果迅速地、强制性地转化为生产力的重要手段,其标准化程度将决定以地球空间信息为基础的信息产业的经济效益和社会效益。主要包括:空间数据采集、存贮与交换格式标准、空间数据精度和质量标准、空间信息的分类与代码、空间信息的安全、保密及技术服

务标准等。

(3) 地球空间信息时空变化

地球及其环境是一个时空变化的巨系统,其特征之一是在时间-空间尺度上演化和变化的不同现象,时空尺度的跨度可能有十几个数量级。地球空间信息的时空变化理论,一方面从地球空间信息机理入手,揭示和掌握地球空间信息的时空变化特征和规律,并加以形式化描述,形成规范化的理论基础,使地球科学由空间特征的静态描述有效地转向对过程的多维动态描述和监测分析。另一方面,针对不同的地学问题,进行时间优化与空间尺度的组合,以解决诸如不同尺度下信息的衔接、共享、融合和变化检测等问题。

(4) 地球空间信息认知

地球空间信息以地球空间中各个相互联系、相互制约的元素为载体,在结构上具有圈层性,各元素之间的空间位置、空间形态、空间组织、空间层次、空间排列、空间格局、空间联系以及制约关系等均具有可识别性。通过静态上的形态分析、发生上的成因分析、动态上的过程分析、演化上的力学分析以及时序上的模拟分析来阐释与推演地球形态,以达到对地球空间的客观认知。

(5) 地球空间信息不确定性

由于地球空间信息是在对地理现象的观测、量测基础上的抽象和近似描述,因此存在不确定性,而且它们可能随着时间发生变化,这使得地球空间信息的管理非常复杂、困难。同时,这些差异会对信息的处理、分析结果产生影响。地球空间信息的不确定性包括:类型的不确定性、空间位置的不确定性、空间关系的不确定性、时域的不确定性、逻辑上的不一致性和数据的不完整性。

(6) 地球空间信息解译与反演

通过对地球空间信息的定性解译和定量反演,揭示和展现地球系统现今状态和时空变化规律。从现象到本质回答地球科学面临的资源、环境和灾害诸多重大科学问题是地球空间信息科学的最终科学目标。地球空间信息的解译与反演涉及范围广泛的地球学科。

(7) 地球空间信息表达与可视化

由于计算机中的地球空间数据和信息均以数字形式存贮,为了使人们更好地了解和利用这些信息,需要研究地球空间信息的表达与可视化技术方法。主要涉及到空间数据库的多尺度(多比例尺)表示、数字地图自动综合、图形可视化、动态仿真和虚拟现实等。

3) 地球空间信息学的技术体系

地球空间信息学的技术体系是指贯穿地球空间信息采集、处理、管理、分析、表达、传播和应用的一系列技术方法所构成的一组完整的技术方法的总和。它是实现地球空间信息从采集到应用的技术保证,并能在自动化、时效性、详细程度、可靠性等方面满足人们的需要。地球空间信息科学技术体系是地球空间信息科学的重要组成部分,它的建立依赖于地球空间信息科学基础理论及其相关科学技术的发展,包括以下几个大的方面:

(1) 空间定位 (GPS) 技术

GPS 作为一种全新的现代定位方法,已逐渐在越来越多的领域取代了常规光学和电子仪器。80 年代以来,尤其是 90 年代以来,GPS 卫星定位和导航技术与现代通信技术相结合,在空间定位技术方面引起了革命性的变化。用 GPS 同时测定三维坐标的方法将测绘定位技术从陆地和近海扩展到整个海洋和外层空间,从静态扩展到动态,从单点定位扩展到局部与广域差分,从事后处理扩展到实时(准实时)定位与导航,绝对和相对精度扩展到米级、厘米级乃至亚毫米级,从而大大拓宽它的应用范围和在各行各业中的作用。

(2) 航空航天遥感 (RS) 技术

当代遥感的发展主要表现在它的多传感器、高分辨率和多时相特征。国外已有或正研制地面分辨率为 1-3m 的航天遥感系统,俄罗斯也将原军方保密的分辨率为 2m 的间谍卫星影像公开出售。在影像处理技术方面,开始尝试智能化专家系统。遥感信息的应用分析已从单一遥感资料向多时相、多数据源的复合分析,从静态分析向动态监测过渡,从对资源与环境的定性调查向计算机辅助的定量分析过渡,从对各种现象的表面描述向软件分析和计量探索过渡。近年来,由于航空遥感具有的快速机动性和高分辨率的显著特点使之成为遥感发展的重要方面。

(3) 地理信息系统 (GIS) 技术

随着“数字地球”这一概念的提出和人们对它的认识的不断加深,从二维向多维动态以及网络方向发展是地理信息系统发展的主要方向,也是地理信息系统理论发展和诸多领域的迫切需要如资源、环境、城市等。在技术发展方面,一个发展是基于 Client/Server 结构,即用户可在其终端上调用在服务器上的数据和程序。另一个发展是通过互联网络发展 Internet GIS 或 Web-GIS,可以实现远程寻找所需要的各种地理空间数据,包括图形和图像,而且可以进行各种地理空间分析,这种发展是通过现代通讯技术使 GIS 进一步与信息高速公路相接轨。

(4) 数据通讯技术

数据通讯技术是现代信息技术发展的重要基础。地球空间信息技术的发展在很大程度上依赖于数据通讯技术的发展,在 GPS、GIS 和 RS 技术发展过程中,高速度、大容量、高可靠性的数据通讯是必不可少的。目前在世界范围内通讯技术正处于飞速发展阶段,特别是宽带通讯、多媒体通讯、卫星通讯等新技术的应用以及迅速增长的需求,为数据通讯技术的发展创造了良好的外部环境。

1.2.2 数字地球

戈尔副总统在“数字地球——认识 21 世纪我们这颗星球”的报告中,比较详尽地阐述了数字地球的概念。所谓“数字地球”,可以理解为对真实地球及其相关现象统一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的自然和社会活动诸方面的问题,最大限度地利用资源,并使普通百姓能够通过一定方式方便地获得他们所想了解的有关地球的信

息,其特点是嵌入海量地理数据,实现多分辨率、三维对地球的描述,通俗地说就是虚拟地球。

1) 数字地球的关键技术

戈尔副总统在报告中提到的数字地球关键技术包括:计算科学、大规模存储、高分辨率卫星图像、宽带网络、互操作性和元数据。概括起来有以下四点:

(1) 高分辨率卫星遥感

目前,在高分辨率遥感卫星的研制和发射方面,世界各国展开了激烈竞争,一些发达国家和发展中国家投入了大量的人力和物力如:美国、法国、印度等。1m 分辨率的卫星影像是人类即将获得的最高分辨率的民用卫星对地观测图像,它能够满足包括 1:1 万以上比例尺的测图,以及农业、资源、环境、交通、军事等诸多方面的应用,它是构成数字地球最基本的空间数据,并作为其他非空间数据的载体和框架,从而实现数字地球的空间定位。与此相关的空间信息获取技术包括:雷达卫星技术、小卫星技术、机星地一体化空间信息获取与处理技术。

(2) 高速网络与数据标准

数字地球的大量数据分布在世界各地的不同数据库中,并且由不同的机构进行维护,这些数据必须通过高速网络连接起来如:ATM 技术。以 10^{15} 信息传输单位的新一代因特网为代表的高速网络能够实现包括图像在内的多种数据在网络上快速传输。与此同时,全球统一完整的数据交换标准、规范也是实现数字地球的重要基础,否则来自不同数据库的各种数据将无法实现互操作和交换。

(3) 大规模存储与元数据

由于数字地球要求存储数倍于 10^{15} 字节的信息,大规模的存储能力是实现数字地球的基本条件。一方面,各种数据压缩技术的不断发展能够实现对多种数据的快速压缩如:影像、多媒体数据,使得在网络上快速移动海量数字图像成为可能,并且随着激光技术的发展使得存储介质的容量成倍提高。另一方面,为了在海量数据中迅速找到需要的数据,元数据(metadata)库的建设是非常必要的,它是关于数据的数据,通过它可以了解有关数据的名称、位置、属性等信息,从而大大减少用户寻找所需数据的时间。

(4) 虚拟现实(Virtual Reality)技术

虚拟现实技术是实现数字地球的一个重要技术手段。它是采用计算机技术生成一个逼真的视觉、听觉、触觉和味觉的等感观世界,用户可以直接用人的技能和智慧对这个生成的虚拟实体进行观察和操作。同时它也是一种用户界面工具,用户不仅可以观察数据,而且可以与数据交互,并且这种观察具有从外到内或从内到外的空间特征,这与可视化计算中只允许用户从外向内观察数据空间有很大不同。

虚拟现实造型语言(VRML)是一种面向 Web、面向对象的三维造型语言,而且它是一种解释性语言。它不仅支持数据和过程的三维表示,而且能使用户走进视听效果逼真的虚拟世界,从而实现数字地球的表达以及通过数字地球实现对各种地球现象的研究和人们的日常应用。

2) 数字地球的应用

在人类所接触到的信息中有 80% 与地理位置和空间分布有关, 地球空间信息是信息高速公路上的货和车。数字地球不仅包括高分辨率的地球卫星图像, 还包括数字地图, 以及经济、社会和人口等方面的信息, 它的应用正如戈尔副总统在报告中提到的有时会因为我们的想象力而受到限制, 换句话说, 数字地球的应用在很大程度上超出我们的想象。这里只能就我们的理解提出一些现实的应用。

(1) 全球变化与社会可持续发展

全球变化与社会可持续发展已成为当今世界人们关注的重要问题, 数字化表示的地球为我们研究这一问题提供了非常有利的条件。在计算机中利用数字地球可以对全球变化的过程、规律、影响以及对策进行各种模拟和仿真, 从而提高人类应付全球变化的能力。数字地球可以广泛地应用于对全球气候变化, 海平面变化, 荒漠化, 生态与环境变化, 土地利用变化的监测。与此同时, 利用数字地球, 还可以对社会可持续发展的许多问题进行综合分析预测, 如: 自然资源与经济发展, 人口增长与社会发展, 灾害预测与防御等。

我国是一个人口多, 土地资源有限, 自然灾害频繁的发展中国家, 十几亿人口的吃饭问题一直是至关重要的。经过 20 年的高速发展, 资源与环境的矛盾越来越突出。1998 年的洪灾, 黄河断流, 耕地减少, 荒漠化加剧, 已经引起了社会各界的广泛关注。我们必须采取有效措施, 从宏观的角度加强土地资源和水资源的监测和保护, 加强自然灾害特别是洪涝灾害的预测、监测和防御, 避免第三世界国家和一些发达国家发展过程中走过的弯路。数字地球在这方面可以发挥更大的作用。

(2) 政治、经济与军事应用

数字地球在当前世界政治、经济和军事中的应用是非常广泛的。例如, 数字地球可以用于解决国家之间的争端, 如边界划分; 数字地球可以用于维护社会安定, 打击犯罪, 如: 利用 GIS 对犯罪模式、频率、和分布进行分析, 合理部署警力。利用 GPS 和 GIS 实现警车调度和指挥, 以及重要车辆的跟踪与保卫; 数字地球可用于自然灾害的预测和灾后应急指挥与重建, 如洪水和地震灾害预测与救灾; 数字地球可用于城市和农村的规划, 如城市规模与功能的设计, 土地利用监测; 数字地球可用于提高工农业生产率, 如利用卫星影像和 GPS 进行病虫害防治、田间作业指挥和精准农业。特别重要的是数字地球对于发展全球信息产业具有非常重要的作用, 数字地球作为 Internet 上一个最基本的信息载体, 社会经济生活中的各个部门和行业都可以将自己的信息加载到上面, 最终将会形成全世界每年数百亿美元的新的经济增长点, 并将对未来的全球政治、经济和军事产生无法估量的影响。

在经济全球化的今天, 劳动力、资金、生产、市场的空间分布、动态变化和合理布局具有重要的意义。通过数字地球这样的政府行为来促进经济信息化的进程, 将有利于我国社会主义市场经济的形成和发展。

美国提出的数字地球是后冷战时期“星球大战”计划的继续和发展, 是其全球战略的继续

和发展。作为新一代的电子地图和地理信息系统,数字地球在军事上具有明显的应用价值,这一点从美伊战争和最近的对南战争中可以很容易的看出。而且它是一个典型的平战结合、军民结合的系统工程,因而,建设中国的数字地球工程符合我国国防建设的发展方向。

1.2.3 地球空间信息学与数字地球的关系

虽然数字地球既是一个新概念又是一个综合系统工程,但它涉及到的大部分理论、技术和应用却与现有的实际科技工作直接相连。它是从更高的层次、从系统论和一体化的角度来集成和应用已有和正在发展的理论、技术、数据和能力,从而更广泛、更深入、更有效、更经济地为社会提供服务。明确数字地球与当前地学理论、技术和应用发展的关系有助于深入认识数字地球,把握当前地学发展的方向和目标。

1) 地球空间信息学是数字地球的数学基础

在数字地球中,需要对整个地球进行数字化描述,地球空间信息是其中最重要的组成部分。地球空间信息学所研究的空间信息基准、标准、时空变化和不确定性等问题是关于地球空间信息最基本的理论,同时也是数字地球的基本理论。数字地球的建立依赖于若干理论问题的突破和完善。例如:在数字地球中如何对地球形状进行定义和描述;如何定义数字地球的几何基准以及几何变换方法和投影方法;如何定义和描述各种空间和非空间数据的标准和规范;如何定义与表达数字地球在时间与空间的连续性和完整性以及变化规律;如何定义和描述空间数据和非空间数据的不确定性及其传播规律;等等。

2) 地球空间信息学是数字地球的空间信息框架

在数字地球中,各种社会、经济、文化等复杂信息是以地球空间信息进行定位和组织,地球空间信息是作为其他信息的载体。地球空间信息学所研究的空间信息的组织和管理方法为数字地球的建立提供了可靠的空间信息框架。“数字地球空间数据框架”(“Digital Geo-Spatial Data Framework”)是“空间数据基础设施”(Spatial Data Infrastructure,简称 SDI)的核心,它包含了最基本的空间数据集。框架的内容一般包括数字正射影像、数字地面模型、道路、水系、行政境界、公共地籍和地名注记等内容。这一空间数据框架一方面为研究和观察地球以及地理分析提供了最基本和公用的数据集;另一方面为用户添加各种与空间位置有关的信息提供了地理坐标参考。从而实现以不同时间、空间尺度对数字地球的各种数据进行有效的定位、组织、集成和应用。

3) 地球空间信息学为数字地球提供技术支撑

构成地球空间信息学技术体系的“3S”技术和通讯技术是实现对地球表层及其附近的空间和非空间数据的获取、处理、分析、表示和传输的重要手段,这些技术的不断发展为数字地球的建立提供了可靠的技术保证。高分辨率遥感卫星的研制与发射,机星地一体化空间数据的采集、处理与分析技术的进一步完善,为数字地球空间数据的及时更新与信息提取提供了保证;分布式空间数据库技术的发展可以将海量的视频和图像数据与空间数据一起进行有效

的管理,特别是面向对象技术的发展使得空间数据库具有构造和表示复杂对象的能力,使得真实世界几乎所有的实体都可以表示为对象,从而实现减少 I/O 访问提高运行效率;空间数据仓库与知识挖掘技术将根据一定的主题内容集成来自不同数据库的具有不同时间和空间尺度的数据,从中挖掘出用户所需要的知识,实现面向数据和面向模型分析的统一;网络 GIS 技术从单机结构到 Client/Server 结构,再到 Browser/Server 结构的发展,标志着网络 GIS 技术进入一个全新时代,它为在 Internet 上进行地球空间信息的查询和应用提供了方便;虚拟现实技术的发展和在地球空间信息表示中的应用为数字地球进入平常百姓的日常生活创造了条件,它把抽象的数据变得更加直观、可操作,从而满足不同层次的需要。

1.3 RS、GIS 与 GPS 集成的定义、理论与关键技术^[6]

1.3.1 RS、GIS 与 GPS 的集成

空间定位系统(目前主要指 GPS 全球定位系统)、遥感(RS)和地理信息系统(GIS)是目前对地观测系统中空间信息获取、存贮管理、更新、分析和应用的 3 大支撑技术(以下简称“3S”),是现代社会持续发展、资源合理规划利用、城乡规划与管理、自然灾害动态监测与防治等的重要技术手段,也是地学研究走向量化的科学方法之一。

这 3 大技术有着各自独立、平行的发展成就:

GPS 是以卫星为基础的无线电测时定位、导航系统,可为航空、航天、陆地、海洋等方面的用户提供不同精度的在线或离线的空间定位数据;RS 在过去的 20 年中已在大面积资源调查、环境监测等方面发挥了重要的作用。在未来数年之中还将会在空间分辨率、光谱分辨率和时间分辨率 3 个方面,全面出现新的突破;GIS 技术则被各行各业用于建立各种不同尺度的空间数据库和决策支持系统,向用户提供着多种形式的空间查询、空间分析和辅助规划决策的功能。

随着“3S”研究和应用的不断深入,科学家们和应用部门逐渐地认识到单独地运用其中的一种技术往往不能满足一些应用工程的需要。事实上,许多应用工程或应用项目需要综合地利用这 3 大技术的特长,方可形成和提供所需的对地观测、信息处理、分析模拟的能力。例如海湾战争中“3S”技术的集成代表了现代战争的高技术特点,而且“3S”技术的集成应用于工业、农业、交通运输、导航、捕鱼、公安、消防、保险、旅游等不同行业,将产生愈来愈大的市场价值。

近几年来,国际上“3S”的研究和应用开始向集成化(或综合化)方向发展。在这种集成应用中:GPS 主要被用于实时、快速地提供目标,包括各类传感器和运载平台(车、船、飞机、卫星

等)的空间位置;RS用于实时地或准实时地提供目标及其环境的语义或非语义信息,发现地球表面上的各种变化,及时地对GIS进行数据更新;GIS则是对多种来源的时空数据进行综合处理、集成管理、动态存取,作为新的集成系统的基础平台,并为智能化数据采集提供地学知识。

集成是英语 Integration 的中译义,它指的是一种有机的结合,在线的连接、实时的处理和系统的整体性。目前,由于对“集成”的含义理解不清,似有“集成”泛滥化之势头。比如说,对于已得到的航空航天遥感影像,到实地用GPS接收机测定其空间位置(X, Y, Z),然后通过遥感影像处理,将结果经数字化送入地理信息系统中,这同样使用了“3S”技术,但它不是一种集成。它不符合上述的集成概念。一个较好的“3S”技术集成系统的例子是美国俄亥俄州立大学、加拿大卡尔加里大学分别在政府基金会和工业部门资助下进行的集 CCD 摄像机、GPS、GIS 和惯性导航系统(INS)为一体的移动式测绘系统(Mobile Mapping System)。该系统将GPS/INS、CCD 实时立体摄像系统和GIS在线地装在汽车上。随着汽车的行驶,所有系统均在同一个时间脉冲控制下进行实时工作。由空间定位、导航系统自动测定 CCD 摄像瞬间的像片外方位元素。据此和已摄得的数字影像,可实时/准实时地求出线路上目标(如两旁建筑物、道路标志等)的空间坐标,并随时送入GIS中,而GIS中已经存贮的道路网及数字地图信息,则可用来修正GPS和CCD成像中的系统偏差,和作为参照系统,以实时地发现公路上各种设施是否处于正常状态。

显然,这样的集成还应当有现代通讯技术和专家系统技术相配合,只是“3S”的提法已经广为流传开了。从以上讨论不难看出,空间定位技术、遥感技术和地理信息技术的集成是一项技术难度极高的高科技。

1.3.2 “3S”技术集成中需要解决的理论问题和关键技术

为了实现真正的“3S”技术集成,需要研究和解决“3S”集成系统设计、实现和应用过程中出现的一些共性的基本问题,如“3S”集成系统的实时空间定位、一体化数据管理、语义和非语义信息的自动提取、数据自动更新、数据实时通讯、集成化系统设计方法以及图形和影像的空间可视化等,为进一步设计和研制实用的“3S”集成系统提供理论、方法和工具。这里不妨再作一些更具体的分析和说明。

1) “3S”集成系统的实时空间定位

研究“3S”集成系统的传感器实时空间定位、系统行进过程中快速确定相关地面目标的方法和实现技术。包括:

- (1)广域和局域差分GPS网的构建方法与实时数据处理的理论与算法;
- (2)遥感传感器位置和姿态的测定及在航空、航天遥感中的应用;
- (3)GPS辅助的遥感地面目标的自动重建与量测方法。

2) “3S”集成系统的一体化数据管理

研究“3S”数据的集成管理模式、数据模型, 设计和发展相应的数据管理系统, 以实现图形、图像、属性、GPS 定位数据等的一体化管理, 为“3S”的集成处理和综合应用提供基础平台。包括:

- (1) 非均质、多尺度、多时态空间数据的组织与管理;
- (2) 面向对象的一体化数据结构与数据模型的研究;
- (3) 大容量影像数据的压缩、传输、建库和存贮的理论与方法。

3) 语义和非语义信息的自动提取理论方法

研究从航空、航天遥感数据和 CCD 立体象对中自动、快速和实时地提取空间目标位置、形状、结构及相互关系和空间目标的语义信息的理论与方法。主要包括:

- (1) 遥感影像地物结构信息的自动提取和精确图形表达;
- (2) 多种传感器、多分辨率和多时相遥感图像的融合理论与方法;
- (3) 基于知识工程的遥感影像解译与分类系统的研究。

4) 基于 GIS 的航空、航天遥感影像的全数字化智能系统及对 GIS 数据库快速更新的方法

研究如何依托已建立的 GIS 系统来实现航空、航天遥感影像的智能化全数字过程, 并从中快速发现在哪些地区空间信息发生了变化, 进而实现 GIS 数据库的自动/半自动快速更新。主要内容为:

- (1) GIS 信息与现势的航空、航天影像复合;
- (2) 从 GIS 信息与航空、航天影像之配准中, 自动(或半自动)检测空间信息的变化和增加;
- (3) 由 GIS 的属件数据以及它与现势影像配准之结果, 自动(或半自动)提取语义信息与获取知识;
- (4) GIS 信息的自动更新。

5) “3S”集成系统中的数据通讯与交换

数据通讯是“3S”技术集成中的一个关键问题。例如在环境监测、灾害应急、自动导航和自动加强系统中, 需要将 GPS 记录数据和遥感成像数据(CCD 记录和雷达记录等)实时传送到信息处理中心或反之将所有数据传送到量测平台上去, 为此, 需要研究:

- (1) 数据单向实时传送的理论与方法;
- (2) 数据双向实时传送的理论与方法;
- (3) 数据交换的理论与方法。

6) “3S”集成系统中的可视化技术理论与方法

“3S”集成系统中将有不同分辨率、不同时相的大量图形和影像数据, 需要研究它们的多级分辨率和多尺度表示在各种介质和终端上的可视化问题。包括:

- (1) 空间图形图像数据库的多级分辨率的存贮、显示和表达;