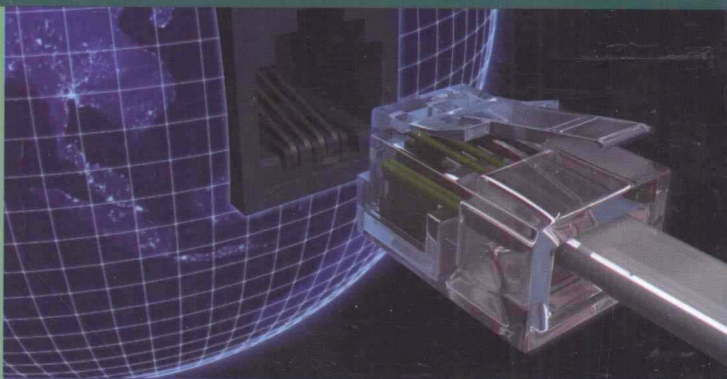




地球空间信息学基础

FOUNDATION OF GEOSPATIAL INFORMATION SCIENCE

何勇 冯雷 主编



图书在版编目 (CIP) 数据

地球空间信息学基础 / 何勇, 冯雷主编. —杭州:
浙江大学出版社, 2010. 12
ISBN 978-7-308-08238-9

I. ①地… II. ①何… ②冯… III. ①地理信息系统
—高等学校—教材 IV. ①P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 243022 号

内容简介

本书系统地介绍了地球空间信息学及其支撑技术,并在详细介绍全球定位系统(GPS)、地理信息系统(GIS)和遥感(RS)的基本原理的基础上,论述了 3S 技术集成的基本内涵、最新研究成果以及实践应用。本书紧跟 3S 技术发展的步伐,内容新颖丰富,知识覆盖面广,概念清晰,结构合理。可作为大学相关专业本科生教材和研究生的主要参考书,也可供相关科技人员阅读参考。

地球空间信息学基础

何 勇 冯 雷 主编

责任编辑 杜玲玲

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州中大图文设计有限公司

印 刷 富阳市育才印刷有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 12.25

字 数 298 千

版 次 2010 年 12 月第 1 版 2010 年 12 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-08238-9

定 价 25.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部邮购电话 (0571)88925591

前 言

地球空间信息是指与地球上地理空间位置有关的信息。地球空间信息技术主要指遥感(Remote Sensing, RS)、地理信息系统(Geographic Information System, GIS)、定位和导航技术(Global Position System, GPS), 俗称 3S 技术。随着现代通信技术与网络计算技术的发展, 地球空间信息技术已经发展成为一个影响经济建设、社会发展、国家安全、科学研究等国家活动和民众生活各个方面的高新技术产业领域, 在国家科技发展战略中具有十分重要的地位。

地球空间信息学是 20 世纪 90 年代兴起的地球科学研究的前沿领域, 是数字地球产生和发展的基础。它是在信息科学和空间信息技术发展的支持下, 以地球系统科学、信息论、控制论、系统论和人工智能的基本理论为指导, 运用多种空间信息技术和数字信息技术, 来获取、存储、处理、分析、显示、表达和传输地球空间信息, 研究和揭示地球表层系统各组成部分之间的相互作用、时空特征和变化规律, 为全球变化和区域可持续发展研究服务的科学。谷歌地球等相关网站的出现, 向社会公众和各界人士提供了从地球空间、大气、地表、地下、海洋等各种不同分辨率的专用信息和应用基础软件, 使地球空间信息技术和数据从专业深宅大院进入寻常百姓的视野, 真正实现了数据的普及应用, 是地球空间信息学领域一道亮丽的风景线。

2009 年初, 国际 IT 巨头 IBM 提出“智慧的地球”新概念, 认为“下一阶段的任务是把新一代信息技术充分运用在各行各业之中, 具体地说, 就是把传感器嵌入和装备到电网、铁路、桥梁、隧道、公路、建筑、供水系统、大坝、油气管道等各种物体中, 并且被普遍连接, 形成物联网”。随着物联网的出现, 将实现人与人、人与机器、机器与机器的互联互通。这种无处不在的物联网络, 可以被广泛的应用在国防军事、生产控制、环境监测、城市管理、交通物流、教育医疗、公共安全、家居生活等领域, 拥有巨大的应用价值, 数字地球也将向智慧地球转变。

地球空间信息学的发展非常迅速, 我们在浙江大学本科生院的大力支持下, 于 2007 年开始在浙江大学面向全校学生开设了通识课程。本教材是在多年讲义的基础上修改而成, 并参考了国内外同行的相关论著中的观点和图表资料。本教材系统地介绍了地球空间信息学及其支撑技术, 并在讲清全球定位系统、地理信息系统和遥感技术的基本原理基础上, 论述了 3S 技术集成的基本内涵、最新研究成果以及应用实践。本教材可作为本科生的教材, 也可作为研究生的教学参考书。

本书由浙江大学何勇教授和冯雷副教授主编。何勇、冯雷、方慧、刘飞、吴迪、邵咏妮、聂鹏程、虞佳佳、杨凯盛、陈双双等参加了本书的编写和整理工作。书中的部分成果得到了国家科技支撑计划、863 课题、国家自然科学基金、高等学校优秀青年教师教学科研奖励基金、浙江省重大科技专项等多项课题的资助。本教材被列为 2009 年度浙江省高校重点教材建

设项目。浙江大学出版社、浙江大学本科生院也为本书的出版给予大力支持,在此一并致谢。

由于编著者水平有限,书中不妥和错误之处,恳请广大读者批评指正。

作 者

2010 年 10 月于紫金港

目 录

第一章 绪 论	1
1.1 地球空间信息学的基本概念	1
1.2 地球空间信息学与数字地球	17
1.3 空间信息结构表达与理解机制	22
1.4 GPS、GIS 与 RS 的集成与融合	28
1.5 前景展望	31
第二章 全球定位系统	32
2.1 卫星定位技术的发展	32
2.2 GPS 系统构成	35
2.3 GPS 基本原理和方法	40
2.4 GPS 系统的特点及其应用	55
2.5 其他卫星定位系统的介绍	64
第三章 地理信息系统	69
3.1 概述	69
3.2 地理信息系统的结构与功能	75
3.3 空间数据的获取	77
3.4 空间数据模型	81
3.5 空间查询与空间分析	93
第四章 遥感技术	104
4.1 遥感概述	104
4.2 遥感系统	106
4.3 地物光谱特性	121
4.4 遥感图像与图像处理	125
4.5 其他遥感技术	130
4.6 遥感技术的应用	133

第五章 3S 技术综合应用	136
5.1 3S 技术在交通行业上的应用	136
5.2 3S 技术在国土资源管理中的应用	143
5.3 3S 技术在生物多样性研究中的应用	148
5.4 3S 技术在数字林业中的应用	150
5.5 3S 技术在精准农业中的应用	152
5.6 3S 技术在水利上的应用	166
5.7 基于 3S 技术的检测方法和装备	169
参考文献	185

第一章 绪 论

1.1 地球空间信息学的基本概念

1.1.1 地球空间信息学起源与发展概况

地球空间信息学(Geospatial Information Science, Geomatics)是由地球科学和现代信息技术两个学科系统交叉而形成的一门新兴的学科,最早出现于上世纪 80 年代末,研究地球表层并与空间分布有关的地球信息。随着全球定位系统(Global Positioning System, GPS)、地理信息系统(Geographic Information System, GIS)、遥感(Remote Sensor, RS)、传感技术和现代通信技术的进一步发展以及相互间的综合交叉集成,地球空间信息学得到了日益深入和广泛的发展,为解决综合复杂的现代地球空间信息问题提供了新的分析工具和技术手段。

对于地球空间信息科学,中国国家自然科学基金委员会的定义是:在现代高新技术发展的前提下,将地球作为一个完整的系统;以空间技术、遥感技术、计算机应用、地理信息系统、多媒体与虚拟技术、通信与互联网技术为手段,获取、处理、分析、存储、传输具有明确空间尺度和定位含义的地球科学信息;以地球科学的基本理论为基础,信息论、控制论、系统论作为支撑,形成集成的科学体系,研究解决地球科学问题,特别是地球各因素的相互作用、地球信息的时空特征和变化的规律的科学。中国两院院士李德仁教授对地球空间信息科学的定义是:以全球定位系统、地理信息系统、遥感等空间信息技术为主要内容,并以计算机技术和通信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。上世纪 90 年代,人们把全球定位系统(GPS)、地理信息系统(GIS)和遥感(RS)的集成称为“3S”技术。地球空间信息科学被认为是以“3S”技术为主体,交叉结合通信技术、计算机技术等而形成的新兴学科,是地球信息科学的重要组成部分,是信息科学的重要分支,是数字地球的基础。

地球空间信息学是当前世界研究的热点领域,与区域乃至全球发展紧密相连,是利用现代地球科学解决社会可持续发展问题的重要环节,在全球气候、海平面、生态与环境、土地利用等变化的研究中被广泛地应用。地球空间信息学可用于综合分析 & 预测包括自然资源合理利用 & 经济健康发展,人口增长与社会发展,防灾减灾等社会可持续发展中的许多问题;

可用于提高工农业生产力,包括利用“3S”技术进行病虫害防治和田间作物作业管理;可用于自然灾害的预警和灾后应急指挥与重建指导,包括洪水、地震、雪灾、海啸等灾害预测与救灾;可用于城市和农村的规划管理,包括城市规模与功能的设计,土地与耕地利用监测;可用于维护社会安定,打击犯罪,包括通过 GIS 分析犯罪模式、频率和分布等,指导合理部署警力和设计防控方案,利用 GPS 和 GIS 实现警车调度和指挥,以及特殊车辆的跟踪与保卫;可用于提高包括侦察战场的地形和敌方军事的部署在内的等军事手段的精确性,提高指挥和攻击的准确性。

目前,地球空间信息科学的理论与方法还处于初始阶段,完整的地球空间信息科学体系还有待建立和完善,其包含的“3S”技术及其在地球空间信息采集、存贮、处理、表示、传播上的应用有待进一步发展。

1.1.1.1 有关“Geomatics”的翻译

(1)“Geomatics”的出现过程

“Geomatics”最早在上世纪 60 年代末期就已经在法国出现。法国大地测量和摄影测量学家 Bernart Dubuisson 于 1975 年在科学文献上第一次正式使用了该词的法文——“Geomatique”。

Gagnon P. 在 1990 年发表了题为《Geomatics——an integrated, systematic approach to meet the needs for spatial information》的论文。其中将“Geomatics”定义为“采取各种方法,通过一切途径来获得并管理有关空间基础信息的空间数据的科学技术领域”。同时,加拿大拉瓦尔大学将测量工程系更名为“Geomatics”系。加拿大科学家 Groot 教授在荷兰 ITC 任教期间,将遥感图像处理、摄影测量学、地图制图、测量学、土地信息系统以及计算机科学几个学科合并成立“Geo-Informatics”系。随后西方高校出现了将测量工程系更名为“Geomatics”的热潮。特别是随着加拿大 University of Calgary(卡尔加里大学)的 Schwarz 教授将测量工程系改名为“Geomatics”工程系后,招生人数和科研项目明显增加。从而导致加拿大 New Brunswick 大学历史最久的测量工程系也于 1994 年改名为“Geomatics 和大地测量学系”。同年,加拿大的测量员杂志和军事测绘杂志也更改了杂志名,加拿大能源矿产资源部也将其测绘和遥感局改名为“Geomatics Canada”。此后更名之风更是迅速从北美传到了澳大利亚、新西兰、英国和香港等国家和地区。最后连起初对“Geomatics”持观望态度的德国和美国,也开始接受“Geomatics”这个新创造出来的单词了。“Geomatics”更名的过程反映了需要将现代测绘科学、遥感和地理信息学等学科与现代计算机科学、信息科学交叉集成,以满足对空间信息要求的趋势。

(2)国外学者对“Geomatics”的各种定义

国际上的著名学者分别根据自己的理解给出了“Geomatics”的定义:

加拿大科学家 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”。

卡尔加里大学的大地测量学家 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”。他特别指出“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（原来测绘学杂志的更名）给出的定义是：“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”。

西班牙相关机构给“Geomatics”所下的定义是：“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、土地信息系统、自动测图和市政工程管理、重力测量、地震学、水文学、地籍学和其他的地球科学。”

美国在 1993 年出版的第 3 版 Webster 字典中，对“Geomatics”作了定义：“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”。

通过对上述 7 位世界上 Geomatics 领域著名专家和机构给出的定义找寻共同点，可以发现：

- ① Geomatics 包括所有现代测绘科学的内容；
- ② Geomatics 强调应用计算机技术对地球空间信息数据的处理；
- ③ Geomatics 强调相关学科的交叉和集成，强调对地球空间数据（Geo-spatial data）的集成分析，强调从数据采集、处理、量测、分析、管理、存储、显示和发布的信息流全过程。

当然各种定义之间也存在一定的差异。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）。所涵盖的学科有多有少。特别是 Webster 字典更是简单地用“地球的数学”来定义“Geomatics”，独具特色。

最终在 1996 年，国际标准化组织（ISO）给出了 Geomatics 的正式定义：“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.”。同时 ISO 还给出了 Geomatics 的简化定义：“Geomatics is the modern scientific term referring to the integrated approach of measurement, analysis, management and display of spatial data.”

（3）“Geomatics”的标准翻译——地球空间信息学

李德仁院士根据“Geomatics”一词的出现过程和国际上著名学者们对它做出的定义，认

为“Geomatics”一词应该翻译成“地球空间信息学”。李院士给出了如下理由：

由国际标准化组织(ISO)里的多国专家一起讨论定稿给出的定义可以看到：

①Geomatics 处理的对象为空间数据(Spatial data)和空间信息(Spatial information)；

②Geomatics 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；

③Geomatics 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。

李院士将“Geomatics”分为两部分：“Geo”和“matics”。其中“Geo”可以理解为地球或地学，不宜理解为地理；而“matics”可以理解为 informatics 或 mathematics 的缩写，可以翻译成信息学。更深一层地从 ISO 给出的“Geomatics”的定义看，“Geo”更应该理解为 Geospatial 的缩写，也就是“地球空间”，所以“Geomatics”宜译为“地球空间信息学”。

“Geomatics”在刚出现的时候，国内有学者将“Geomatics”译成“地理信息学”或“地球信息学”。然而这样的翻译并不能反映国际标准化组织(ISO)和各国专家对“Geomatics”的定义。地理学更强调以人与自然关系为中心，研究大气圈、水圈、生物圈和岩石圈四大圈层之间的相互作用。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。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。同样“Geomatics”翻译成“地球信息学”也不是很合适。地球是一个复杂的综合系统，通过获取和利用地球信息进行研究。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、现在的以及未来的地球信息。以“3S”技术为主的“Geomatics”只能以数字化地球的形式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。

将“Geomatics”翻译成“地球空间信息学”可以充分反映国际标准化组织(ISO)对“Geomatics”所下定义的完整内容，能够涵盖传统测绘科学与遥感、地理信息系统、多媒体通信等现代计算机科学和信息科学的集成。李德仁院士表示将“Geomatics”翻译成“地球空间信息学”的意义远远超出了一个学术名词定义的范围，而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。

1.1.1.2 欣欣向荣的地球空间信息产业

Nature 在 2004 年发表了由美国人维吉尼亚·格文(Virginia Gewin)撰写的文章 *Mapping Opportunities*，向从事地球空间信息学工作和研究方向的人们展示了地球空间信息产业的广阔前景：

(1)2004 年初，美国劳动部将地球空间技术、纳米技术与生物技术一起确定为新出现的和正在发展中的三大最重要技术。

(2)地球空间信息产业的产值正增长速度非常快。根据美国劳动部的预计，全球地球空间信息的产值由原来预测在 2005 年达到的 50 亿美元增长到实际的 300 亿美元。SpaceImaging 公司的商用 1 米高分辨率卫星出售业务量增长了 70%。2003—2004 年，美国



军方在商业 GIS 与遥感技术方面的支出费用就已经达到了 10 亿美元,更别说军费中对地球空间信息技术的花费了。

(3)地球空间信息产业急需大量的地球空间信息学相关的高技术人才。以美国为例,美国航天局(NASA)有 26%的高技术地球空间技术人员将在下一个 10 年中退休,仅美国影像制图局(NIMA)就在 2005—2007 年招收了约 7000 名掌握遥感技术的 GIS 技术人员。而在全球则有超过 14 万个单位存在地球空间技术人员需要的缺口,其中大多数为地方、国家和国际的政府与政务机构。此外,未来 10 年人才需求的主要领域将是资源环境、国防与安全、城市与交通以及土地管理等方面。

(4)通过推广移动定位服务和空间决策支持系统,地球空间信息技术也将在非政府部门和民营企业中创造更多的就业机会。不仅将大量需要高学历人才,对于一般技术人员的需求量也将会显著增加。在美国环境系统研究所(ESRI)就拥有超过 2500 名的雇员。同时这个研究所的定期培训班每年还会对 20 万人进行培训,从而使其掌握软件(ARCINFO)的使用,并给公司的市场拓展带来极好的机遇。欧洲航空局和美国国家科学基金联合主办了培训班,为全世界培训从事空间数据基础设施、空间分析和地图可视化的人才。

1.1.1.3 地球空间信息技术的未来发展

在 20 世纪,地球空间信息科学的发展主要是以信息技术、通信技术、航天遥感、导航定位技术的发展为主。进入 21 世纪后,地球空间信息科学逐步形成基于海陆空一体化传感器网络,并与全球信息网格相集成的综合系统,从而能够自动、智能和实时地回答何时(When)、何地(Where)、何目标(What object)、发生了何种变化(What change),并且把这些时空信息(即 4W)随时随地提供给每个人,服务到每件事(Anyone、Anything、Anytime and Anywhere,4A 服务)。具体来说地球空间信息科学的发展主要包括时空信息获取、加工、管理和服务 4 个方面。

(1)时空信息获取的天地一体化和全球化

地球上存在着四大圈层,即岩石圈、水圈、大气圈和生物圈。人类一直生活在这相互作用的四大圈层中,包括上天,入地和下海。在人类的自然和社会活动中有 80%与所处的时空位置密切相关,因此需要实时地获取相关的地理空间信息。在 20 世纪的航空航天信息获取和对地观测技术的研究成果基础之上,21 世纪将进一步构建天地一体化的地球观测系统,以便实时、全球、全天时、全天候地获取高分辨率的点一面时空数据。

美国政府于 2003 年 7 月在美国国务院内发起召开了第一届对地观测部长级高峰会议。这次高峰会议有包括 34 个国家的科技部长或其代表以及联合国的相关机构参加。会议发布了《对地观测华盛顿宣言》,并成立了政府间对地观测协调组织(GEO)。《华盛顿宣言》正式提出建立一个功能强大、协调、可持续的分布式全球对地观测系统(GEOSS)。系统的框架文件已于 2004 年 4 月完成,并在日本东京召开的第二次部长级对地观测高峰会上通过。未来 10 年实施计划也正在整理筹备中。合作计划涉及包括全球环境、资源、生态及灾害等在内的多个领域,研究的问题包括海洋、全球碳循环、全球水循环、大气化学与空气质量、陆地科学、海岸带、地质灾害、流行病传播与人类健康等。虽然军事卫星技术由于涉及国防安全而不在合作之列,但各国都表示会给予重点关注。可以看到未来制天权的争夺过程中存在又联合又竞争的局面,需要高度关注。欧洲航空局在此次华盛顿高峰会上正式宣布将执

行全球环境与安全监测计划——GMES 计划。通过该计划,欧盟将建立一个具有高中低分辨率的对地观测卫星和伽利略全球卫星导航定位系统。该系统能为欧盟的 18 个成员国提供包括环境(生态环境、人居环境、交通环境等)和安全(国家安全、生态安全、交通安全、健康安全等)在内的实时服务。

我国制订的 2005—2020 年的国家中长期科技发展规划也正式提出了建立我国天基综合信息系统的建议。通过发射多颗全天候、全天时的雷达卫星,实现卫星通信、数据中继、全球卫星导航定位和多分辨率的光学、红外、高光谱遥感,用于获取国家经济建设、国防建设和社会可持续发展所需要的时空信息。进一步和航空、地面、舰艇、水下获取的时空信息进行融合,并联合国外的对地观测系统,建成我国的天地一体化时空信息获取系统,为地球空间信息的数据源提供坚实的基础。

(2) 时空信息加工与处理的自动化、智能化与实时化

地球空间信息拥有海量对地观测数据,快速寻找出用户需要的数据、实时满足用户需求,则是社会对于地球空间信息解析的迫切要求。因此对于时空信息需要实现自动化、智能化和实时化的加工与处理。目前,卫星导航定位数据处理已经发展得比较成熟,借助于数据通信技术、载波相位差分技术、实时广域差分技术等,空间定位已达到米级、分米级甚至厘米级精度。美国为了改进 GPS 性能,正不断进行系统升级。与此同时,欧盟也正在加紧推进由 30 颗卫星组成的伽利略计划。我国的二代北斗系统也将对更广大的地域实时卫星导航定位服务,并计划到 2020 年建成我国独立自主的全球导航定位系统。包括高分辨率光学图像、高光谱数据和合成孔径侧视雷达(SAR)数据在内的遥感数据处理,已经能够较好地解决几何定位和影像匹配问题。通过智能化的人机交互式方法已经能够较好地解决图像处理 and 计算机视觉界所关心的目标识别和分类问题。然而真正地达到实时化和在轨处理,进而构成传感器格网,实现直接从卫星传回经在轨加工后的有用数据和信息,则需要全自动的计算方法。基于影像内容的自动搜索和特定目标的自动变化检测有助于尽快实现全自动化。21 世纪内有望将几何与物理方程一起实现遥感的全定量化反演。

(3) 时空信息管理和分发的网格化

时空信息在计算机中的表达一般通过数字化地图,将带地物编码和拓扑关系的坐标存储贮在计算机中。现有的互联网环境已经能共成功实现实时查询和检索 GIS 数据。进一步地,人们又提出了全球信息网格(GIG)概念,即不仅可查询和检索到 GIS 时空数据,而且能够利用网络上的计算资源进行网格计算,实现下一代“3G”(Great, Global, Grid)互联网上进行网格计算。目前的 GIS 数据在网格计算环境下,面临着空间数据的基准不一致、空间数据的时态不一致、语义描述的不一致以及数据存储格式的不一致等四大障碍。因此,要对实现网格计算必须建立全球统一的空间信息网格。为此,李德仁院士提出了从用户需求出发的空间信息多级网格(SIMG)的概念,用带地学编码的粗细网格来统一存贮时空数据。SIMG 要求在地理坐标框架下,依据自然社会发展的不平衡特征,将全球分成粗细不等的格网。将格网中心点的经纬度坐标和全球地心坐标系坐标设定为参照标准,并以此存贮各个格网内的地物及其属性特征。因此 SIMG 能够适用于国家社会经济数据的空间统计与分析。

未来 GIS 应用理论发展和空间数据挖掘应用需要解决空间信息多级网格与现有不同比例尺空间数据库的相互转换,使空间分析和辅助决策支持上一个新台阶。为了解决空间



数据语义的不一致,需要借助本体数据库思想建立一个统一的语义网格,来描述同一客体在不同专业空间数据库中的语义描述及其转换。时态不一致可以借助覆盖全球的同时态卫星数据快速更新已有不同同时态的空间数据库,建立按年或按月的数据文本。而 ISPRS 关于联邦数据库与交互操作的工作组已经较好地解决数据格式的不一致和软件资源共享的问题。

(4) 时空信息服务的大众化

人类的社会活动和自然界的发展变化都是在时空框架下进行的,地球空间信息为其提供了载体和数学基础。信息时代下互联网和移动通信网络的发展以及计算机终端的便携化,让时空信息服务的大众化代表了当前和未来的时代特征,成为空间信息行业能否产业化运转的关键。

时空信息服务对于不同的用户、不同的需求需要提供不同的服务。完善政府电子政务,需要提供必要的具有空间、时间分布的自然、社会和经济数据与信息。提高国民个人的生活品质,需要创造包括汽车导航、盲人导航、手机图形服务、智能小区服务、移动位置服务等在内的优质服务模式。加强国防建设,需要将 3S 集成技术做成适合于各兵种、各作战单元和战士的时空信息多媒体终端,从而实现实时导航定位、实时通信,并实时获取和提供所需要的军事时空信息。促进社会经济发展,需要提供国家资源、环境、灾害调查和各种经济活动的时空分布及其变化的实时服务,数字城市、数字港口、数字仓库、数字化物流配送诸方面的时空信息服务。

时空信息的全社会服务是拉动地球空间信息学和 3S 技术产业化发展的根本原动力。数字地球、数字中国以及数码城市就是时空信息服务于人类社会的一面旗帜。我国的地球空间信息科学技术正面临着一个前所未有的大好发展时期,需要我们加倍努力,抓住机遇,为我国地球空间信息学发展做出贡献。

1.1.2 地球空间信息学的理论基础

地球空间信息科学的理论框架的核心是地球空间信息机理。地球空间信息学从研究地球空间信息机理入手,从信息流的角度,探讨地球表层系统发生、发展及其演化规律,从而实现资源、环境与社会的宏观调控。地球空间信息机理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的规律,是形成地球空间信息科学的重要理论支撑,主要包括: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

地球空间信息基准分为几何基准、物理基准和时间基准。地球空间信息几何形态和时空分布都需要地球空间信息基准进行确定。地球参考坐标系轴向通过地球自转运动定义地球体的定向。地球自转矢量随着地球动力过程以各种周期不断变化。同时全球板块和区域地壳运动又影响到作为参考框架的地面基准站。地球空间信息科学和动力学交叉研究的基本问题包括区域定位参考框架与全球框架的连接和区域地球动力学效应问题,动力学交叉研究的基本问题。

(2) 地球空间信息标准

地球空间信息通过航空、航天遥感等手段进行获取,具有定位特征、定性特征、关系特征

和时间特征。地球表面和大气层在不同电磁波段的辐射与反射率决定遥感仪器所检测到的信号。信息标准化是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。地球空间信息必须要进行信息的标准化。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。地球空间信息标准化主要包括: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

地球及其环境是在时间—空间尺度上演化的。不同的现象可能有十几个数量级时空尺度的跨度。研究地球空间信息的时空变化理论,一方面需从地球空间信息机理入手,研究地理空间信息的时空变化特征和规律,形成规范化的理论基础,从而将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,应针对不同应用场合,进行时间优化与空间尺度的组合,以解决包括不同尺度下信息的衔接、共享、融合和变化检测在内的问题。

(4) 地球空间信息认知

地球空间信息的载体主要为地球空间中各个相互联系、相互制约的元素。这些元素在结构上具有圈层性。各元素间的空间位置、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,均具可识别性。地球形态需要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等来进行阐释与推演,从而客观地认识地球空间。

(5) 地球空间信息不确定性

地球空间信息是对地理现象的观测、测量基础上的抽象和近似描述,它们可能随着时间发生变化,从而造成地球空间信息的管理非常复杂和困难。并且影响信息处理和结果分析。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

地球空间信息科学的最终科学目标是从现象到本质地解释地球科学面临的资源、环境和灾害诸多重大科学问题。对地球空间信息的定性解译和定量反演,可以揭示展现地球系统现今状态和时空变化规律。

(7) 地球空间信息表达与可视化

计算机中的地球空间数据和信息一般是以数字形式进行存贮。地球空间信息的表达与可视化表达可以更好地帮助人们了解和利用地球空间数据和信息。地球空间信息的表达与可视化表达主要涉及空间数据库的多尺度(多比例尺)表示、数字地图综合、图形可视化、动态仿真和虚拟现实等。

1.1.3 地球空间信息学的技术体系

地球空间信息科学的技术体系包括地球空间信息采集、处理、管理、分析、表达、传播和应用,以及这些技术方法的集成。这些技术体系将支持地球空间信息从采集到应用,并能够在自动化、时效性、详细程度、可靠性等方面满足人们的需要。



“3S”是空间定位系统(全球定位系统、地理信息系统和)的英文缩写的简称,其中,全球定位系统用于获取点、面空间信息,遥感用于监测信息变化,而地理信息系统用于空间数据的存贮、分析和处理。从 20 世纪 90 年代开始,“3S”集成日益受到关注和重视。人们认识到“3S”技术间存在明显的互补性,只有将它们集成在一个统一的平台中才能充分发挥其各自的优势。因此“3S”技术逐渐发展成为一个新的交叉学科:地球空间信息学(Geomatics)。但在地球空间信息学形成之前,“3S”技术中三种技术则是各自独立、平行发展。

1.1.3.1 全球定位系统(GPS)

空间定位与大地测量学既是地球空间信息科学的基础学科,又是工程应用学科。在基础研究领域,空间定位与大地测量学主要研究地球及外层星体的形状、大小、重力场及其随时间变化的理论和方法。在工程应用方面,空间定位与大地测量又服务于各种工程建设的测量应用。进入 21 世纪以后,空间定位与大地测量学开始朝着自动化、网络化、实时化的方向发展。其学科体系集成了大地测量学、工程测量、矿山测量、海洋测绘、地籍测量等领域。其学科任务包括研究地球动力学、地球深部构造、全球环境变化等研究领域;工程应用方面则拓展到资源开发、交通导航、环境监测、减灾防灾、海洋工程、土地管理等领域。当前空间定位与大地测量学最新的研究方向包括:

(1)海量数据处理。先进的大地测量和测量工程的测量手段和观测方法可以获得大量的观测数据量,因此需要快速、准确地对这些数据进行处理,以满足人们的需求。

(2)卫星大地测量学。包括 GPS 地球动力学应用研究、GPS 区域性精密定位研究、动态差分 GPS 定位研究、卫星测高研究、卫星轨道确定研究、卫星重力测量研究等。

(3)高精度工程测量。现代建设工程要求高精度工程测量为其服务,包括城市和工程控制网的优化设计和建立、电子全站仪与实时动态 GPS 定位(RTK)技术相结合的道路勘测和地形测量方法的实验研究、变形观测方法和变形分析的研究、各种高精度工程测量问题的成果处理和分析方法的研究。

GPS 技术是空间定位与大地测量学的基础和主要运行手段。GPS 是一种全新的全球性、全天候和实时性导航、定位和定时系统。GPS 是由美国国防部(U. S. Department of Defense)投资并控制的一个卫星导航系统,是专为美国军方设计,并由美国军方控制。GPS 是美国继阿波罗登月计划和航天飞机之后的第三大空间工程。GPS 从 1973 年开始实施,到 1994 年完成,可实现地球上任何地方,任何时刻的自动定位。90 年代起逐渐代替常规光学和电子仪器应用越来越多的领域,特别是革命性地将 GPS 卫星定位和导航技术与现代通信技术相结合,应用于空间定位技术领域。

GPS 计划实施共分三个阶段:第一阶段为方案论证和初步设计阶段。从 1973 年到 1979 年,共发射了 4 颗试验卫星,研制了地面接收机及建立地面跟踪网,从硬件和软件上进行了试验。试验结果令人满意。第二阶段为全面研制和试验阶段。从 1979 年到 1984 年,又陆续发射了 7 颗试验卫星。这一阶段称之为 Block I。与此同时,研制了各种用途的接收机,主要是导航型接收机,同时测地型接收机也相继问世。试验表明,GPS 的定位精度远远超过设计标准。利用粗码的定位精度几乎提高了一个数量级,达到 14m。由此证明,GPS 计划是成功的。第三阶段为实用组网阶段。1989 年 2 月 4 日第一颗 GPS 工作卫星发射成功,宣告了 GPS 系统进入工程建设阶段。这种工作卫星称为 Block II 和 Block II A 卫星。

这两组卫星的差别是:Block II A 卫星增强了军事应用功能,扩大了数据存储容量;Block II 卫星只能存储供 14 天用的导航电文(每天更新三次);而 Block II A 卫星能存储供 180 天用的导航电文,确保在特殊情况下使用 GPS 卫星。实用的 GPS 网即(21+3)GPS 星座已经建成,今后将根据计划更换失效的卫星。

GPS 系统包括三大部分:空间部分——GPS 卫星星座;地面控制部分——地面监控系统;和用户设备部分——GPS 信号接收机。与其他定位技术相比,GPS 具有全天候全球覆盖、高精度、多用途、定位速度快、自动化程度高、抗干扰性能好、保密性强和经济效益高等特点。借助于 GPS 同时测定三维坐标的能力,测绘定位技术已经从陆地和近海扩展到整个海洋和外层空间,从静态发展到动态,从单点定位发展到局部与广域差分,从非实时处理发展到实时(准实时)定位和导航,绝对和相对精度已经发展到米级、厘米级乃至亚毫米级。GPS 技术大大拓宽了测绘定位技术的应用范围和在各行各业的作用。现在 GPS 技术正沿着卫星系统性能改进、接收机性能改进和导航定位方法完善三个方向发展。

1.1.3.2 地理信息系统(GIS)技术

地图学与地理信息工程是利用地图图形语言与数学模型语言描述自然界与人类社会各种自然、人文、社会现象的空间分布、相互关系、动态演变特征;研究空间信息采集、智能抽象、存储、分析、可视化处理、管理与应用的一门科学与高新技术。借助于信息技术、知识工程、计算机技术的迅猛发展,地图制图学与地理信息工程已成为当今数字地球科学研究的重要手段,用以帮助人类认知地理环境和利用地理资源。地图制图学与地理信息工程是地球空间信息科学形成与发展的重要部分。其综合了测绘科学与地理科学、计算机科学、信息科学、智能与认知科学等众多学科,有力地推动了各相关学科的科技进步与发展。当前地理信息科学理论与前沿包括 GIS 数据处理与质量控制;地学计算与模型模拟;多维动态与网格地理信息系统的理论与方法;城市信息与城市规划、房产、交通、环境信息工程;城市信息与城市开发等。地图制图学与地理信息工程已广泛应用于国民经济各部门,包括农林、地矿、冶金、水利、交通、环境、海洋、导航、行政管理、市政管理、城市规划与管理、国防建设、作战指挥等。各级、各部门地理信息系统的研究、开发和建立已经产生了巨大的社会与经济效益。

地理信息系统(GIS)是在计算机软硬件支持下,应用地理信息科学和系统工程理论,科学管理和综合分析地理数据,提供管理、模拟、决策预测预报等任务所需的各种地理信息的技术系统。地理信息系统的功能包括:地理信息采集功能、地理数据管理功能、空间分析与属性分析功能和地理信息的可视化功能。

GIS 源于机器辅助制图,其最早的应用被认为是 1956 年奥地利土地测绘部门研究了用计算机技术实现地籍管理自动化的问题。GIS 的概念最早由加拿大地理学家 RF Tomlinson 于 1960 年提出。世界上第一个地理信息系统——加拿大地理信息系统(CGIS)也是由 Tomlinson 领导完成的。随着上世纪 80 年代计算机技术的快速发展,一大批成熟的商用 GIS 软件平台推出。90 年代以来,GIS 用户数大幅度增加,主要的大学几乎都开设了地理信息系统课程,同时也出现了一批提供空间信息为目的的网站。进入 21 世纪后地理信息系统将朝着高效、价廉、方便、兼容的方向,满足新一代用户在资源、环境、城市等应用的迫切需要。数据自动输入、数据模型、开放式结构、二维向多维动态、WebGIS 和易用界面等将成为 GIS 研究的热点领域。特别是发展 Client/Server 结构,即客户机可在其终端上调用



在服务器上的数据和程序,以及通过互联网络发展 Internet GIS 或 WebGIS,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,并进行各种地理空间分析,从而帮助 GIS 进一步与信息高速公路相接轨。

我国地理信息系统软件发展分为两个阶段:(1)酝酿和基础阶段。以科研和应用项目起步,积累了理论和技术基础,形成了骨干技术队伍;(2)产业形成与发展阶段。形成了比较完整的 GIS 软件产品体系,涌现了一批优秀的国产软件,初步形成了地理信息系统软件产业。21 世纪以来,国产 GIS 软件开始走出国门,出口海外。企业开始形成现代管理体制。各类企业超过 450 家,软件商品销售年收入超过 2 亿元人民币,工程、服务年收入超过 20 亿元人民币,连同数据加工生产,超过 30 亿元人民币。在我国有超过 120 所大学开设地理信息系统专业。

1.1.3.3 航空航天遥感(RS)技术

遥感与摄影测量在信息技术领域中有着举足轻重的地位,并被广泛应用于环境监测、灾害控制与预报、海洋开发、城市建设、交通规划,甚至虚拟制造等领域。遥感是空间信息获取的重要途径。现在的遥感技术已经逐步从使用单一波段的遥感资料向多平台、多波段、多光谱、多时相、综合分析应用发展;从资源与环境的定性调查与制图向定量分析、评价与预测发展;从为各部门的常规管理提供基础资料向为科学化、现代化管理、建立各种信息数据库和地理信息系统的方向发展。

数字摄影测量是遥感影像信息处理的重要手段。作为摄影测量发展的第三个里程碑,数字摄影测量是当代摄影测量发展的方向,是遥感影像分析和处理的重要工具。数字摄影测量通过数字处理技术处理多种遥感信息及其他影像信息,完成全数字化与自动化的遥感影像摄影测量,自动地从遥感影像中提取目标的三维信息,建立影像信息系统和科技信息系统,并作为信息产品向用户提供包括“为数字城市”、“数字地球”等在内的基础信息,以满足各种应用需求。

摄影测量与遥感技术的主要研究内容包括遥感影像信息处理的理论与方法;遥感影像的融合、数据挖掘与数据分类方法;SAR 和 INSAR 的理论与应用;遥感在国土整治、环境保护、海洋监测、减灾防灾、信息农业和土木工程中的应用等。摄影测量与遥感的研究领域主要包括:遥感影像的自动识别、三维信息提取与定位;影像信息系统、空间信息系统和三维虚拟现实的理论与方法;目标三维建模方法;数字近景摄影测量;全数字摄影测量系统的建立方法等,同时在城市近景摄影测量、城市三维重建、变形监测、导航与定位及军事工程等方面也有重要的应用。

“遥感”=“遥”(遥远)+“感”(感知),是指通过某种传感器装置,在不与研究对象直接接触的情况下,获得其特征信息,并对这些信息进行提取、加工、表达和应用的一门科学技术。遥感源于航空摄影测量,历史悠久。1839 年摄影像机问世,法国人达格雷发表了第一张航空照片。1903 年莱特兄弟发明飞机。1914 年,机载摄影机问世。1959 年,前苏联宇宙飞船“月球 3 号”拍摄了第一批月球照片。1962 年美国海军研究局的伊·普鲁伊特第一次提出“遥感”这个术语。但其迅速发展与应用则是在 1972 年美国第一颗地球资源技术卫星(Landsat-1)发射并获取大量卫星图像之后。

遥感的物理基础是电磁学。当电磁振荡进入空间,在空间中传播时,就形成了电磁波。