

对地观测数据处理与分析丛书
国家“十一五”重点图书

对地观测 数据处理与分析 研究进展

龚健雅 主编

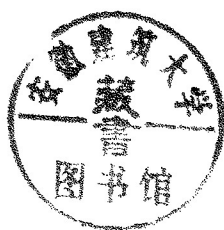




对地观测数据处理与分析丛书
国家“十一五”重点图书

对地观测 数据处理与分析 研究进展

龚健雅 主编



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

对地观测数据处理与分析研究进展/龚健雅主编. —武汉:武汉大学出版社, 2007. 12

对地观测数据处理与分析丛书

国家“十一五”重点图书

ISBN 978-7-307-06038-8

I. 对… II. 龚… III. ①大地测量:空间测量—数据处理—研究—进展—中国 ②大地测量:空间测量—数据—分析—研究—进展—中国
IV. P228

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 195365 号

责任编辑:任翔

责任校对:王建

版式设计:詹锦玲

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:wdp4@whu.edu.cn 网址:www.wdp.whu.edu.cn)

印刷:武汉中远印务有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:30.5 字数:733 千字

版次:2007 年 12 月第 1 版 2007 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-06038-8/P·132 定价:80.00 元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

丛书序言

人类正面临着人口急剧增加、资源逐渐枯竭、环境日益恶化、灾害频繁发生、全球变暖等严重社会和经济问题,这些问题的发现和解决需要实时的、动态的地球空间信息的支持,而对地观测技术是实时获得动态地球空间信息的重要手段。

我国科技发展中长期规划已将高分辨率对地观测系统和新一代卫星导航定位系统列入国家重大专项。到2020年,国家计划投资几百亿元研究建设高分辨率对地观测系统,届时将有多种对地观测卫星在轨运行,具有准实时、全天候获取各种空间数据的能力,并逐步形成集高空、高光谱、高时间分辨率和宽地面覆盖于一体的卫星(群)对地观测系统,获取大量的对地观测数据。如何快速、有效地处理对地观测数据,自动提取空间信息,及时获得地学知识,充分发挥对地观测系统的使用效能,是我们亟待解决的重大科学问题。

对地观测数据获取与信息处理涉及地球科学、信息科学、空间科学和认知科学等众多领域,需要通过多学科交叉聚集多领域的专家,深入研究地表物体的反射及散射特性、大气传输模型、地物成像机理与波谱特性、地球空间要素关系模型、空间信息采样定律、地球空间信息统一时空基准、遥感影像自动几何定位、地物目标自动识别、空间数据挖掘与知识发现以及空间信息智能服务等一系列理论与方法。

鉴于此,国家科技部于2005年批准立项,开展国家重点基础研究发展计划(973计划)项目“对地观测数据-空间信息-地学知识转化机理”的研究,该项目拟解决对地观测系统的时空基准与遥感成像模型、地球空间要素关系模型与空间信息表达、海量空间数据库中地学知识发现及其机理等关键科学问题,从而揭示对地观测数据-空间信息-地学知识的转化机理。项目首席科学家龚健雅教授和他带领的研究团队,代表了我国该领域年轻一代的中坚研究力量,他们开展的这个项目的研究已经取得成果。《对地观测数据处理与分析丛书》将系统地总结这些研究成果,为读者展现整个研究结果的全貌。

21世纪是航天的世纪,随着我国航天技术的发展,中国必将从航天大国发展为航天强国。“坐地日行八万里,巡天遥看一千河”,相信通过我国科学家群体的集体攻关,一定会形成我国独立自主的对地观测数据获取、信息处理与知识发现的理论与方法体系,为实现空间数据获取的天-空-地一体化,空间数据处理的自动化、定量化和实时化,空间信息分发与应用的网格化,空间信息服务的大众化与智能化提供理论支撑,促进我国航天技术的发展,更好地为国家安全、经济建设和创建和谐社会服务。

李德仁

2007年11月于武昌珞珈山

前 言

依托武汉大学,联合中国科学院地理与资源科学研究所、北京大学、中国测绘科学研究院、上海交通大学、北京邮电大学等国内相关研究的优势单位以及部分海外专家,我们组建了一个具有较强实力、学科交叉的项目组,申报了国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目“对地观测数据-空间信息-地学知识转化机理”的研究,并于 2005 年获得了科技部的批准立项。

项目获得批准立项,我们既感到欣慰,我们的研究基础和研究目标得到了专家和科技部管理部门的认可,使得我们有机会联合起来,共同就对地观测数据处理与分析的理论与方法进行系统而深入的研究,为我国高分辨率对地观测系统重大专项的实施和国际上遥感科学与技术的发展贡献一份力量;同时又感到压力,因为向前探索的路总是艰难的。为了项目的顺利开展,项目研究人员首先研究分析该领域当前的研究现状与存在的问题。2005 年 12 月 25 日,科技部领导、武汉大学领导、课题顾问、专家组成员、课题组组长和课题组全体成员一起在武汉召开了项目启动会。经大家讨论,一致同意在综合分析研究现状与存在问题以及今后的研究过程中,就本项目涉及的相关文献,建立一个文献检索和管理平台,对目前国内外已有的相关研究工作的参考文献进行检索,提供一站式的文献索引平台和信息交流平台,为各个课题提供参考文献服务。随着项目研究的不断进展,各个课题都积累了丰富的资料,通过消化吸收后,对各个课题、专题的研究前沿有了比较全面和深刻的了解,并形成了初步的文字综述。在 2006 年度的项目总结报告会上,大家一致同意,将这些综述进一步凝练,并且统一规划,齐集成书,既可作为课题组相关人员的交流工具,也可以为本领域国内科研人员提供参考,更是对地观测数据处理与分析丛书的开篇之作,统领整个丛书的结构,形成以本书为广度,以今后各个课题研究成果形成的专著为深度的领域知识体。

整个书稿由绪言和六个部分共 21 章组成。绪言由龚健雅执笔,综述了“对地观测数据-空间信息-地学知识转化机理”项目的研究背景、目标、内容、范围,概述了本领域的国内外研究前沿。第一部分对地观测系统的时空基准与高精度定位由施闯负责,分为 3 章,分别是时空基准、卫星定轨和定姿;第二部分卫星遥感成像几何物理模型由袁修孝负责,分为 3 章,分别是卫星遥感成像机理与辐射校正、卫星遥感影像几何定位模型和基于有理多项式模型的几何求解;第三部分遥感影像智能解译与目标识别由张继贤负责,分为 5 章,分别是智能解译的理论与方法、高性能处理和高分辨率影像、高光谱影像及合成孔径雷达影像的处理;第四部分空间信息集成与更新由龚健雅负责,分为 4 章,分别是分布式空间信息的集成方法、多时相空间信息变化检测、多源遥感影像智能融合和时空数据模型及更新;第五部分空间数据挖掘和知识发现由周成虎负责,分为 3 章,分别是地学信息图谱理论、空间数据挖掘和支持地理空间知识发现的空间数据库技术;第六部分空间信息智能服务由李琦负责,分为 3 章,分别是空间信息服务集成调度模型、空间本体和空间信息智能搜索。全书由龚健雅和吴华意审阅统稿。

本书的完成凝聚了课题组全体成员的心血,大家反复讨论,滤除各章之间的重复部分,仔

细推敲各章都没有顾及的空白。本书各章的内容定位在研究方向的综述,因此普通教科书中的基础知识,不属于本书论述的内容。为了兼顾本书的可读性,各章前面都给出一段简短的导读,以通俗的语言描述本章的内容,方便初入门人员的阅读。各章在最后都安排一个小结,总结该方向研究的热点、存在的问题和发展趋势。

感谢国家科技部对本项目的支持,虽然项目组成员有共同的研究兴趣,但本项目的支持使得大家走在一起,为完成一个共同的目标而努力,也使得本书的完成成为可能。感谢项目的顾问、专家组成员一直以来对项目进展的指导和关心,使得编者对本书的把握能够更加准确。感谢武汉大学、武汉大学科技主管部门和武汉大学出版社,他们为本项目的开展和本书的出版提供了便利的条件。最后感谢项目组的所有成员,大家的共同努力是本书能够完成的保证。

本书是一本综述性的论著,书中大量引用了国内外同行的研究成果,在此,对相关作者一并表示衷心的感谢。由于本书涉及的范围广、作者多,各个章节之间的协调工作量大,时间紧迫,因此,书稿中难免存在疏漏之处,恳请读者不吝批评指正。

龚健雅

2007年11月

丛书编委会

顾 问	李德仁	宁津生	张祖勋
	刘经南	刘先林	

主 编	龚健雅
-----	-----

副主编	吴华意
-----	-----

编 委	顾行发	李志林	周启鸣
	李 斌	施 闯	袁修孝
	张继贤	周成虎	李 琦
	方 涛		

目 录

绪 论	龚健雅 1
0.1 对地观测数据处理与分析研究的必要性与意义	1
0.2 对地观测数据处理与分析研究发展趋势	3
0.3 对地观测数据处理与分析研究拟解决的关键科学问题	6
0.4 对地观测数据处理与分析的主要研究内容	7
第 1 部分 对地观测系统的时空基准与高精度定位	
第 1 章 对地观测系统的时空基准	姚宜斌 邹蓉 施闯 15
1.1 时空基准的定义	15
1.2 常用的全球坐标参考框架	20
1.3 时空基准的建立、维持和精化方法	23
1.4 区域时空基准的现代化	26
1.5 小结	31
参考文献	31
第 2 章 对地观测卫星的精密定轨	赵齐乐 罗佳 叶世榕 楼益栋 施闯 33
2.1 对地观测卫星精密定轨综述	33
2.2 对地观测卫星轨道的高精度确定	36
2.3 定轨方法及精密定轨软件设计	42
2.4 小结	45
参考文献	45
第 3 章 恒星定姿	江万寿 谢俊峰 48
3.1 恒星定姿的原理与现状	48
3.2 星敏感器的设计	50
3.3 软件处理算法	54
3.4 恒星相机标定	61
3.5 小结	64
参考文献	64

第2部分 卫星遥感成像几何物理模型

第4章 卫星遥感成像机理与辐射校正	朱忠敏 龚威	69
4.1 遥感成像机理概述		69
4.2 遥感成像大气辐射传输模型		76
4.3 遥感影像辐射校正		81
4.4 小结		89
参考文献		90
第5章 卫星遥感影像几何定位模型	袁修孝 余俊鹏	92
5.1 卫星遥感影像几何定位模型综述		92
5.2 严密几何定位模型		93
5.3 仿射变换几何模型		96
5.4 有理多项式函数模型		96
5.5 小结		97
参考文献		98
第6章 基于RPC参数的几何模型求解	张永军 张剑清 丁亚洲	100
6.1 RPC参数的解求		100
6.2 基于RPC参数的三维空间坐标解算		101
6.3 基于RPC参数的近似核线影像生成		102
6.4 高精度DEM生成及DOM制作		103
6.5 小结		104
参考文献		105

第3部分 遥感影像智能解译与目标识别

第7章 遥感影像智能解译的理论与方法	方涛 霍宏	109
7.1 视觉认知理论研究现状与评价		109
7.2 认知模型研究进展		113
7.3 遥感影像智能解译现状与展望		117
7.4 小结		127
参考文献		128
第8章 遥感影像高性能处理方法	杨景辉 李海涛	136
8.1 遥感影像高性能处理方法及其必要性		136
8.2 遥感影像高性能集群处理技术		137
8.3 遥感影像大规模分布式处理与网格计算		142

8.4 小结	145
参考文献	146
第9章 高分辨率影像目标识别与智能解译	刘振军 梅天灿 149
9.1 高分辨率遥感影像的特性	149
9.2 高分辨率影像的多尺度分割方法	151
9.3 高分辨率影像的解译与智能目标识别	156
9.4 小结	168
参考文献	169
第10章 高光谱遥感影像解译智能化方法	龚龔 林丽群 舒宁 176
10.1 波谱空间分析技术	176
10.2 基于光谱特征空间分析技术	181
10.3 高光谱遥感主要应用研究现状	192
10.4 小结	195
参考文献	195
第11章 合成孔径雷达影像的智能分类与	
信息提取	张永红 张继贤 王志勇 余海坤 198
11.1 SAR 影像的智能分类	198
11.2 DEM 和地表变形信息提取	204
11.3 小结	208
参考文献	208
 第4部分 空间信息集成与更新	
第12章 多源空间信息的集成方法	龚健雅 高文秀 陈静 向隆刚 215
12.1 全球无缝空间数据的组织与管理	215
12.2 多源异构空间数据的互操作技术	232
12.3 小结	237
参考文献	238
第13章 多时相遥感影像变化检测	周启鸣 睦海刚 马国瑞 240
13.1 地表变化驱动力分析	241
13.2 变化检测的预处理	242
13.3 变化检测分类体系	245
13.4 变化检测方法	248
13.5 变化检测精度评价	255
13.6 小结	256

参考文献	258
第 14 章 对地观测影像信息的智能融合	张晓东 李志林 266
14.1 空间信息智能融合的基本概念	266
14.2 空间影像信息智能融合的模式	268
14.3 遥感影像融合数据预处理	272
14.4 空间信息融合中的尺度效应	275
14.5 遥感影像信息智能融合方法	279
14.6 影像融合方法评价	286
14.7 小结	289
参考文献	290
第 15 章 时空数据模型和动态更新	唐新明 吴华意 杨平 邓晓光 298
15.1 时空数据模型	298
15.2 时空数据库查询引擎	302
15.3 时空数据可视化	304
15.4 时空数据的动态更新	310
15.5 小结	320
参考文献	320
第 5 部分 空间数据挖掘与知识发现	
第 16 章 地学信息图谱理论与方法	李宝林 周成虎 325
16.1 地学信息图谱理论的发展	325
16.2 地学信息图谱与地学知识发现	327
16.3 地学信息图谱创新	328
16.4 基于地学信息图谱的思维方法在地学各领域中的应用	329
16.5 小结	331
参考文献	331
第 17 章 空间数据挖掘	裴韬 苏奋振 秦昆 王树良 葛咏 程涛 周春 333
17.1 数据挖掘和知识发现概述	333
17.2 空间聚类方法	335
17.3 基于数据场的空间数据挖掘	343
17.4 基于概念分析的空间数据挖掘	348
17.5 基于多重分形的空间数据挖掘方法	354
17.6 空间关联规则挖掘方法	359
17.7 基于人工智能的时空预测方法	364

17.8 小结	370
参考文献	370
第 18 章 支持地理空间知识发现的空间数据库技术	朱欣焰 舒红 377
18.1 海量空间数据的组织与管理	377
18.2 分布式空间数据库	382
18.3 时空数据挖掘的索引技术	384
18.4 时空数据挖掘的查询语言	388
18.5 空间查询优化技术	389
18.6 小结	391
参考文献	391
第 6 部分 空间信息智能服务	
第 19 章 面向事件处理的空间信息服务集成调度模型	罗英伟 汪小林 许卓群 399
19.1 现代城市生活中的事件处理	399
19.2 事件处理信息系统及相关技术基础	401
19.3 基于规则的空间信息服务集成调度模型	403
19.4 一个事件处理实例——统一接警	414
19.5 小结	419
参考文献	420
第 20 章 空间本体	杜清运 黄茂军 421
20.1 空间本体的哲学与信息基础	421
20.2 空间本体构建及其形式化方法	425
20.3 空间本体驱动的空间信息服务	433
20.4 小结	437
参考文献	438
第 21 章 空间信息智能搜索	张雪虎 马浩明 439
21.1 中文位置描述的自动匹配、定位与标准化算法	439
21.2 空间兴趣点简称到全称的智能匹配算法	460
21.3 小结	466
参考文献	466
顾问、编者和作者名录	468

绪 论

□ 龚健雅

随着航天技术、计算机技术、通信技术、信息处理技术的提高,现代空间遥感技术也得到了空前发展。20 世纪地球科学进步的一个突出标志是人类能够脱离地球而从太空观测地球(Earth Observation from Space),对地观测技术已成为国际上太空竞争的重要热点之一。现有的高空间、高光谱、多时相、全天候的遥感对地观测技术,已使人类第一次能够将自己赖以生存的星球作为一个整体来观测和研究,为地球科学的研究和人类社会的可持续发展做出巨大的贡献。

0.1 对地观测数据处理与分析研究的必要性与意义

0.1.1 对地观测系统是确保经济持续增长及信息化建设的需要

随着我国现代化建设的深入,为了保证我国经济的高速增长和社会可持续发展,建设信息化和谐社会,迫切需要科学、定量和及时地了解国土资源现状,统筹规划国土资源的开发和整治,以便合理利用国土资源,提高自然资源利用率,改善生态环境。长期以来,我国通过购买国外对地观测数据来获取所需地球空间信息。尽管中巴资源卫星 1 号已于 1999 年成功发射,但由于分辨率只有 20m,加上传感器工艺和数据处理能力的限制,制约了该影像在我国的应用。在国家测绘局 2001 年初启动的全国 1:5 万数字正射影像的生产以及国家环保总局开展的全国环境大调查中,购买的依旧是美国 Landsat 7 和法国 SPOT 的数据。这种局面如果继续下去,不仅会给国家带来巨大的经济负担,而且会严重阻碍我国经济和城市发展。中国只有抓紧建设自己的对地观测系统,大量获取高分辨率遥感卫星数据,尽快掌握自动信息提取方法,才能从根本上缓解这种严重的供需矛盾,才有可能查清国土资源和生态环境现状,实施动态监测,为我国国民经济和社会可持续发展带来巨大的社会效益和经济效益。

0.1.2 对地观测系统是确保国家安全的需要

遥感对地观测已经成为现代化战争的主要信息源和重要技术支撑,国家间国防实力的竞争很大程度上取决于空间技术和信息技术的竞争。过去十年,我国在星上器件、卫星发射、卫星控制等一系列硬件技术上已经取得重大突破,但在对地观测数据处理、信息提取等方面主要使用国外的接收设备和处理系统,不仅耗费了大量的外汇资源,而且暴露了我国自行设计的卫星系统参数,给国家安全带来了隐患。由于遥感对地观测技术的敏感性和战略地位的重要性,我们很难从西方发达国家获得先进的对地观测技术。

0.1.3 我国对地观测系统的应用迫切要求大力提升信息处理能力

我国科技发展中长期规划已将卫星导航定位系统及高分辨率对地观测系统列入重大专项。到 2020 年,国家将投入几百亿元建设高分辨率对地观测系统,届时在轨运行的卫星将达到上百颗,具有近实时、全天候获取各种空间数据的能力,逐步形成集高空间、高光谱、高时间分辨率和宽地面覆盖于一体的卫星(群)对地观测系统。在目前对地观测数据的应用中,信息处理与地学知识发现已经成为一个瓶颈问题。通常遥感卫星所接收到的图像能及时处理供用户使用的比例仅为 10% 左右。造成这种现象的原因是长期以来“重上天,轻应用”,把有限的经费集中投入到卫星上天上,而投入地面处理系统的研发经费甚少,加上管理体制上的问题,出现了“卫星数据既多又少”的矛盾局面。一方面,我们每天可以获取大量的对地观测数据;另一方面,由于处理技术的落后,大量数据不能及时处理,造成极大的浪费。这就出现了我们每天可得到海量的对地观测数据,但能够应用的空间信息不足,地学知识严重贫乏的局面。随着对地观测卫星的陆续发射,数据处理能力不足的矛盾将更加突出。如何有效、自动地对获取的大量对地观测数据进行快速处理和信息提取,充分发挥对地观测系统的使用效能,成为我们亟待解决的重大科学问题。

0.1.4 对地观测系统数据处理与分析存在的主要瓶颈问题

1. 缺少天空地一体化的遥感影像高精度星地直接定位理论和方法

近年来,不依赖地面控制的星地直接三维定位在西方主要国家已经取得了重要成效。美国的 IKONOS 和 QuickBird 高分辨率卫星采用星载 GPS 和星敏感器确定传感器空间位置和姿态,无地面控制情况下,影像目标定位精度达到地面上的 10~15m;法国的 SPOT-5 卫星利用 DORIS 系统测定卫星的轨道参数,X、Y、Z 三方向位置精度均优于 5m,制作正射影像可达到实地上 15m 的精度。而我国,由于星载姿态测量装置、定轨技术和数据处理技术相对落后,无地面控制情况下,遥感影像的对地目标定位精度只能达到 500~800m,与国际水平相差几个数量级,与军用、民用需求和遥感信息的自动化处理要求相距甚远。由于缺乏精确的星地直接定位和高精度数据处理手段,对地观测数据处理不得不采用大量的地面控制点。

2. 没有形成完整的对地观测数据处理理论和方法体系

长期以来,由于我国对遥感对地观测的基础理论缺少研究,对对地观测数据本身及其成像机理认识不足,对高空间分辨率、高光谱、SAR 影像数据缺乏行之有效的处理手段,加上国外技术的封锁,严重制约了我国对地观测数据处理理论和方法的发展,致使我国在目标识别方面仍旧停留在以目视判读为主的原始水平上,时空变化检测主要依靠人工比对,多传感器集成平台的对地观测数据缺少有效的融合处理方法等。结果是:我国还没有形成具有独立知识产权的对地观测数据处理与应用技术体系,遥感图像处理平台主要依赖于国外进口。美国战略和国际研究中心的报告认为,目前中国的卫星遥感技术还处于示范阶段,还没有达到业务化应用水平。再者,随着高空间分辨率、高光谱、雷达等多种类型传感器的出现,传统空间信息表达与处理的理论和模型已不能充分体现其对地观测数据的特点。这些新型传感器无论是在数据获取和传输机理方面,还是在数据处理方面,所面临的问题比现有的传感器更多、更复杂。建立自己的对地观测数据实时化、自动化的处理理论与方法迫在眉睫。

3. 不能充分利用对地观测数据获取国家急需的地学知识并提供有效服务

空间信息的数量、质量、形式、种类已十分丰富,而空间数据挖掘和知识发现的理论与方法的研究只不过开展了十来年,国内外还没有形成相对成熟的理论与方法可以应对空间数据的海量、多类型以及空间数据之间的复杂关系,现有的知识发现方法无法适用于目前以及将来空间数据发展的需要。因此,还不能有效、充分地利用对地观测数据来获取国家急需的地学知识。迄今为止,空间信息智能服务的重大基础理论研究还不充分,我国各类空间数据资源、计算资源、存储资源、处理工具、应用软件以及用户还没有做到有效协同,空间信息的应用与服务水平还十分低下。

0.2 对地观测数据处理与分析研究发展趋势

0.2.1 对地观测系统的高精度定位

统一时空基准是实现对地观测系统高精度定位的前提,目前国际上在空间技术的应用中所使用的基准信息都来自国际地球自转与参考系统服务(IERS,原国际地球自转服务)国际组织所发布的产品。然而,IERS的主要产品 ITRF、ICRF、EOP 是采用不同的大地测量观测技术独立计算(组合)生成的,难以保证不同产品之间系统的严密一致性。在对地观测系统的高精度定轨方面,美国、欧洲、日本、印度等国家和地区正在积极发展精密定轨系统。目前国际上能够很好地实现卫星精密定轨与定位计算的软件有美国航空航天局(NASA)喷气动力实验室(JPL)开发的 JIPSY-OASIS 软件,德国地学研究中心开发的 EPOS 软件,瑞士伯尔尼大学的 Bernese 软件,美国麻省理工学院(MIT)和 Scripps 研究所(SIO)共同研制的 GAMIT 软件等。遥感航天器的精密定姿主要取决于星载姿态传感器,目前主要的传感器有红外地球敏感器、多天线 GPS 接收机、磁强计、陀螺、太阳敏感器和恒星摄影仪等。然而,如何针对具体航天器的特定任务合理配置相应敏感器,以及考虑多传感器的组合定姿系统,是一个需要研究的课题。同时,如何利用已有遥感图像和地面控制点,以及航天器的精密轨道对姿态敏感器进行标定,也是实现精密定姿的一个关键环节。

0.2.2 对地观测遥感成像模型

传统的方法大多使用成像几何模型,它与传感器物理和几何特性密切相关,对于不同类型的传感器需要建立不同的成像几何模型。随着遥感技术的发展,传感器的结构越来越复杂,除了框幅式中心投影成像外,单线/三线阵推扫式成像越来越普遍,这就使构建几何模型变得越来越困难,研究一种与具体传感器无关的广义传感器模型已成为一个重要研究方向。在已有的经验传感器模型中,其目标空间与影像空间的转换关系是通过一般的数学函数来描述的,可用多种不同形式如多项式、直接线性变换以及有理函数等来表示。用经验传感器模型代替严格成像几何模型最早应用在美国的军事部门中,目前一些高分辨率商业遥感卫星(如 IKONOS 等)使用的就是有理多项式模型(Rational Polynomial Camera Models, RPC)。尽管 RPC 理论在十几年前就已经出现,但 RPC 的应用较少,相关研究也不多,直到 IKONOS 卫星成功发射以后才受到普遍关注并推动了对其全面的研究。国际摄影测量与遥感学会已成立专门工作组研究有关 RPC 的精度、稳定性等问题。

0.2.3 遥感信息处理与解译

目前,高性能网格计算已成为解决海量遥感影像数据并行、快速、实时处理的有力手段,是新一代遥感数据处理的发展趋势。尽管遥感信息智能处理技术有了很大的提高,但离实际应用还有一定的距离,主要表现在以下方面。

(1) 已有的智能化分析方法以像元为对象,过分依赖于影像的光谱特征,没有充分挖掘影像各种空间特征和地物其他属性特征。

(2) 目前的方法仍然是基于特定地区、特定时相获取的解译知识,在运行过程中并没有利用网络的并行处理、信息分布存储、自组织、自学习、协同工作等特性,无法实行深层次的影像理解。尽管计算机视觉理论已经可以解决典型、规则的目标识别问题,但起源于对工业影像研究的计算机视觉理论并不能完全适用于遥感影像。

(3) 针对高分辨率、高光谱、雷达等新型遥感数据的处理,一些新理论和方法已经引入,如 MIA 分析、证据推理及专家系统、小波、分形、神经网络、并行处理等。然而,现有的理论与方法仍然是初步的。例如,目前还无法实现从高光谱遥感数据中对精细光谱进行自动识别、提取、反演和定量分析,其主要原因在于光谱的定量反演、光谱匹配技术以及基于混合像元的高光谱数据的自动分析的关键理论与方法还没有得到突破和解决。

对 SAR 影像的处理目前仍然停留在噪声去除和几何纠正上,InSAR 和 D-InSAR 测定高程和地表形变的成功率还很低。对于利用 SAR 影像进行立体测量、SAR 影像分类、利用 SAR 影像提取高精度地面高程信息、克服时相失相干难题、利用长时间基线的 InSAR 监测地表形变等问题仍然需要研究新的理论与方法。

0.2.4 多源空间信息集成

时空地理信息系统的主要任务是研究如何组织、存储、检索和显示现势(Up-to-date)和历史(Historic)的空间数据。当前的研究重点包括:如何建立有效的空间数据模型来表达时空对象;如何描述空间对象变化前后的各种数学关系即变化的本质;如何定义时间和时空操作符;如何检索历史和当前的空间和属性数据;时空对象的图形表示及关于时间和空间的推理。已有的研究包括:基于 Quel 的时间 T-quel 数据库查询语言,根据传统的对象(Object)和域(Field)模型,基于栅格的 Oogeomorph 等,基于矢量的 STC 模型及 STO 模型可以将不同时间的空间物体组织在一起,部分地解决时空对象的存储问题。然而,它们缺乏描述变化的方法,即如何表示变化物体的空间关系。拓扑学、集合论和几何学等是研究空间关系的有效手段,它们已广泛应用于常规地理信息系统的数据组织、管理和查询。例如,基于点集(Point Set)的面与面之间一般性拓扑关系,面与线、点之间的关系,一般性时间拓扑关系及偏序(Poset)在空间关系中的应用等,将上述理论应用于空间变化的表达和数据组织是时空数据库的发展方向之一。空间查询已扩充至基于时间的查询。如何将空间要素和时间要素结合在一起是当前时间地理信息系统研究的课题之一。另外,目前的空间查询缺乏对于变化的查询,它们无法检索出原来的状态。基于变化的查询则仍处于探索之中,研究成果是时间和空间推理的基础。

0.2.5 空间数据挖掘和知识发现

1995年在加拿大召开的第一届知识发现和数据挖掘国际学术会议,标志着数据挖掘和知识发现研究领域的正式确立。北美地球信息科学大学联盟在2003年的白皮书中将空间知识发现列为优先研究的领域。目前主要有以下特点。

(1) 空间相关性以及空间制约关系已融入到空间知识发现的算法和模型中。不少常规算法通过空间制约条件的引入,更适合于处理空间数据,例如,带空间限制规则的聚类、空间 EM 算法、地理加权回归,等等。

(2) 注重时空耦合下的知识发现方法。在空间统计学中,通常将不同时刻的空间信息视为不同的独立信息,并利用互协方差函数或互变差函数衡量它们之间的相关性;而另一种思路则是研究空间结构随时间的变化,利用了时空路径方法建立时空四维空间实体之间的关系,并借助可达性和邻近性协助分析空间实体之间的关系。

(3) 注重空间数据以及知识在尺度空间下的变化规律。空间知识发现方法在不同尺度上所反映出的结构存在差异,由此带来空间结构的有效性判别问题。目前国内外多从视觉和生命周期的角度出发,解决空间结构的稳定性问题,并以此消除知识发现方法中的主观性。

(4) 由于空间信息的数量巨大,蕴含着极为复杂的空间模式,其中不可避免地带有噪声和离群值,往往会造成空间知识发现方法崩溃,检测离群值和可容忍噪声、离群值的稳健方法成为热点之一。

(5) 可视化和探索性分析已成为重要手段之一。可视化方法可充分利用人类的形象思维优势处理空间数据的海量信息以及复杂的关系,能够将研究者的非结构化知识与定量计算相结合,在机理不明的情况下对海量数据进行探索分析。可视化技术与交互探索技术的结合非常适合于对海量地学数据集的分析,目前的研究多集中在多维数据的表达、计算机交互的图形显示技术、图形可视化技术与地学计算的结合等方面。

0.2.6 对地观测数据、信息与知识服务

尽管国内外开展了大量的空间信息智能服务的研究工作,但还没有取得根本性的突破。具体表现在以下方面。

1. 空间信息的获取、管理、融合与互操作

首先是空间数据交换标准的研究和制定,其次是在定义空间数据模型、空间服务框架模型以及在此基础上设计空间数据访问的开放框架。现有标准包括 ISO/TC 211 地理信息/地球信息科学专业委员会制定的 ISO/TC211 地理信息标准,以及 OGC(Open GIS Consortium)制定的 Open GIS。此外,一些大型专业化企业、美国政府和军方的专业机构(如 FGDC、NASA、USGS、NIMA 等)都提出了一系列的与空间信息共享与服务相关的标准、框架和规范。北美、欧洲等发达国家很早就开展了地理编码和地址匹配的技术研究,取得了比较成熟的成果(如美国人口普查系统及其 TIGER 编码标准和技术),从多源空间数据集成与融合的角度来研究和应用地理编码技术近年来成为热点。基于 XML/GML 的空间数据共享与互操作将成为第二代 Internet 的主流技术,是当前 IT 领域的研究热点之一。目前国际上的研究成果主要有美国加州大学圣地亚哥分校(UCSD)和加州大学圣地亚哥高速计算机中心(SDSC)在美国国家自然科学基金资助研制的 MIX 系统。元数据技术是空间信息共享的重要研究内容,目前 ISO、FGDC