



地球观测与导航技术丛书

遥感数据智能处理方法 与程序设计

(第二版)

马建文 等 著



科学出版社

www.sciencep.com

地球观测与导航技术丛书

遥感数据智能处理方法与程序设计

(第二版)

马建文等 著

目次

第一章 绪论	1
第一节 遥感技术概述	1
第二节 遥感数据智能处理	1
第三节 遥感数据智能处理程序设计	1
第二章 遥感数据智能处理	2
第一节 遥感数据智能处理概述	2
第二节 遥感数据智能处理程序设计	2
第三章 遥感数据智能处理程序设计	3
第一节 遥感数据智能处理程序设计概述	3
第二节 遥感数据智能处理程序设计	3
第四章 遥感数据智能处理程序设计	4
第一节 遥感数据智能处理程序设计概述	4
第二节 遥感数据智能处理程序设计	4

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是作者经过10余年在人工智能理论与遥感信息理论学科交叉领域的实践,不断探索所取得的成果总结。其主要内容包括变换与分割、贝叶斯网络、伪二维隐马尔可夫、遗传算法、神经网络、模糊聚类、粗糙集与容差粗糙集、支持向量机、禁忌人工免疫网络算法、粒子滤波等算法和算法组合。本书密切结合遥感应用和图像处理中的问题,在介绍智能算法基本原理的同时,注重阐述算法与应用问题的机理性结合,突出启发性和实用性,培养和提高思考问题和解决问题的能力。本书附有智能算法的软件程序光盘及使用说明书。

本书适合遥感技术、遥感信息机理和遥感图像应用处理专业的广大研究生使用,同时可供从事智能处理的软件开发技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

遥感数据智能处理方法与程序设计/马建文等著. —2版. —北京:科学出版社, 2010

ISBN 978-7-03-025932-5

I. ①遥… II. ①马… III. ①遥感数据—数据处理②遥感数据—程序设计 IV. ①TP751.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第199377号

责任编辑:韩 鹏 赵 冰 / 责任校对:李奕萱

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:王 浩

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010年1月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2010年1月第一次印刷 印张:15 插页:6

印数:1—2 500 字数:329 000

定价:58.00元(含光盘)

如有印装质量问题,我社负责调换

《遥感数据智能处理方法与程序设计》(第二版)

作者名单

马建文 陈 雪 李利伟 张 睿 温 奇 李启青
戴 芹 欧阳赞 王瑞瑞 布日古都 哈斯巴干
马超飞 韩秀珍 刘志丽 冯 春 叶发茂 李祖传
秦思娴 王浩玉 苑方艳 王 倩 席小燕 方成荫

《地球观测与导航技术丛书》出版说明

地球空间信息科学与生物科学和纳米技术三者被认为是当今世界上最重要、发展最快的三大领域。地球观测与导航技术是获得地球空间信息的重要手段，而与之相关的理论与技术是地球空间信息科学的基础。

随着遥感、地理信息、导航定位等空间技术的快速发展和航天、通信和信息科学的有力支撑，地球观测与导航技术相关领域的研究在国家科研中的地位不断提高。我国科技发展中长期规划将高分辨率对地观测系统与新一代卫星导航定位系统列入国家重大专项；国家有关部门高度重视这一领域的发展，国家发展和改革委员会设立产业化专项支持卫星导航产业的发展；工业与信息化部和科学技术部也启动了多个项目支持技术标准化和产业示范；国家高技术研究发展计划（863 计划）将早期的信息获取与处理技术（308、103）主题，首次设立为“地球观测与导航技术”领域。

目前，“十一五”计划正在积极向前推进，“地球观测与导航技术领域”作为 863 计划领域的第一个五年计划也将进入科研成果的收获期。在这种情况下，把地球观测与导航技术领域相关的创新成果编著成书，集中发布，以整体面貌推出，当具有重要意义。它既能展示 973 和 863 主题的丰硕成果，又能促进领域内相关成果传播和交流，并指导未来学科的发展，同时也对地球观测与导航技术领域在我国科学界中地位的提升具有重要的促进作用。

为了适应中国地球观测与导航技术领域的发展，科学出版社依托有关的知名专家支持，凭借科学出版社在学术出版界的品牌启动了《地球观测与导航技术丛书》。

丛书中每一本书的选择标准要求作者具有深厚的科学研究功底、实践经验，主持或参加 863 计划地球观测与导航技术领域的项目、973 相关项目以及其他国家重大相关项目，或者所著图书为其在已有科研或教学成果的基础上高水平的原创性总结，或者是相关领域国外经典专著的翻译。

我们相信，通过丛书编委会和全国地球观测与导航技术领域专家、科学出版社的通力合作，将会有一大批反映我国地球观测与导航技术领域最新研究成果和实践水平的著作面世，成为我国地球空间信息科学中的一个亮点，以推动我国地球空间信息科学的健康和快速发展！

李德仁

2009 年 10 月

序

中国科学院遥感应用研究所创新基地研究员马建文，20余年来，从事遥感图像处理研究，密切结合应用需求，跟踪国际前沿，探索遥感图像处理的新途径。继往开来，推陈出新，深入剖析前人的历史经验和教训，夯实基础，终于柳暗花明，另辟蹊径。只有站在巨人的肩上，才能登高望远，更上一层楼。

遥感图像处理方法与技术的进步，积累了相当丰富的成果，国内外专著、期刊应接不暇。作者旁征博引，着重阐述多波段遥感数据的变换与分割、贝叶斯网络、遗传算法、神经网络、模糊聚类等先进的空间统计分析方法，与计算技术中的智能方法相结合，力图加深对遥感物理信息进行深度的知识挖掘，进行了大量的数学探索 and 实际验证工作，坚持走系统集成的新路子。内容丰富，层次分明，读来令人耳目一新。作者领导的研究集体新近推出的“遥感图像智能处理系统”，已获国家软件著作权登记，并付诸实施，深受用户欢迎。

诚如作者所指出的，遥感图像处理问题所面对的是自然、人文这个复杂的、开放的巨系统，遥感器所能获取的信息有很大局限性。遥感图像数据处理早已从全色和三原色延展到数以百计的细分高光谱，乃至远红外和微波，对图像处理的要求不仅仅满足于天然色和假彩色的三波段合成，而是要求成为模式识别、知识挖掘、反演与虚拟的信息流程的智能化工具。也就是说，还将引进地球科学与生命科学、管理科学、人文科学的信息伴随的机理，进行更高层次的系统集成，来研究新的解决方案，设计新的方法。庖丁解牛，迎刃而解，岂能一蹴而就？捧读该书，让我们结识了智能化这位巨人，希望借助他的托举，让我们更迅捷地攀登遥感图像处理、知识挖掘的高峰。

中国科学院院士



2005年5月11日

前言

数字遥感卫星技术和地面数字处理技术开始于 20 世纪 60 年代。40 余年过去了,我国在气象卫星、海洋和资源遥感卫星中都实现了传感器数字扫描和地面数字处理。遥感系统处理将数码信号加工成可以辨识的数字图像,遥感应用处理源源不断地将可用的图像信息和知识输送给用户。遥感卫星应用在我国国民经济、社会发展、国防建设的宏观决策中发挥着不可或缺的作用;遥感卫星数据与信息产品也成为国家基础性、战略性信息资源,同时展现出广阔的产业化前景。进入 21 世纪,国家实现小康步伐加快,为了全面落实国民经济与自然全面、协调可持续发展的科学发展观,国家宏观政策、自然灾害监测与管理、小城镇建设、绿色国内生产总值 (GDP)、国家安全等对遥感卫星信息 and 知识的需求与依赖更加强烈,对遥感应用的质量提出了更高的要求,也为遥感处理技术发展提供了前所未有的机遇。

遥感数据获取技术与不断扩大的应用需求共同推动着遥感应用处理的发展。遥感卫星应用的前提条件是通过遥感应用处理将遥感数字图像转变成可以使用的信息和知识。随着国内外资源、环境遥感卫星系列的形成和地球系统探测计划的逐步实施,可利用的系列遥感卫星传感器不仅覆盖了整个光谱波段,如 MSS-ETM、SPOT-1~SPOT-5、CBERS1 和 CBERS2 等,还包括高光谱卫星传感器,如 AVIRIS、Hyperion 等,高空间分辨率卫星 IKONOS、QuickBird 等,以及 MODIS、GEMS、GRACE 等科学探测卫星,逐步构成了对地球观测的遥感卫星网络,这标志着遥感卫星发展到对地球综合、整体观测的新阶段。在国际地球观测组织 (GEOSS) 2005~2015 年 10 年计划的推动下,充分利用国际国内遥感卫星数据资源解决实际问题,已经成为我国遥感界的时代命题。其中,自动实现规模处理流程、定量反演地表物理生物量和积极引进遥感数据智能处理算法的要求突显出来。在这样一个大背景的推动下,作为长期工作在遥感图像处理研究领域研究团队,我们敏锐地认识到新需求的到来,同时不断思考在遥感数据智能处理的新领域作出“探路者”的贡献。

遥感数据处理技术经历了 20 世纪 70~80 年代优胜劣汰的过程,逐步形成以美国 ENVI 和 ERDAS、加拿大 PCI Geomatica 为代表的通用遥感图像处理软件系统。进入 90 年代,这些软件又补充了微波、高光谱或地理信息系统 (GIS) 功能,形成了以通用算法和专用算法相结合为特色的遥感图像处理系统。例如,加拿大的 PCI Geomatica 遥感图像处理软件中的雷达模块主要处理 Radarsat 数据,美国的 ENVI 遥感图像处理软件可以读取 HDF 文件格式,高光谱软件处理模块主要是针对 MODIS 数据的处理。这些图像处理软件系统的发展在推动遥感数据的应用方面发挥了重要的作用。

但是,在面临应用多星、多传感器和不同尺度卫星综合观测,全面认识地表时空过程规律的地球整体研究使命时,这些软件系统的功能明显不足,如 EOS-Terra 上搭

载了5种传感器:先进空间热辐射反射仪(ASTER)、云和地球辐射能量系统(CERES)、多角度成像光谱辐射计(MISR)、中分辨率成像光谱仪(MODIS)和对流层污染探测仪(MOPITT),要求借助多种物理、生物参量共同表达地表的物理生物过程,由此发展了四维变分法模型、集合卡尔曼滤波和贝叶斯网络概率推理等同化方法。又如,光学-微波影像观测、中-高分辨率影像观测中,要求多种传感器数据的融合功能,同时要求算法对多星、多传感器和不同尺度卫星综合观测数据具有自学习、自适应、自组织、鲁棒性和对不完整数据的推理能力。人工智能处理方法具有这方面的算法机理,可以帮助解决这些问题。因此,通过人工智能理论与遥感信息理论的交叉,不断筛选和吸纳人工智能成功的算法,解决多星、多传感器和不同尺度卫星应用处理所面临的问题和挑战,已经成为现代遥感图像处理的重要发展方向。

作者根据30多年从事遥感图像处理的经验和理论探索,首先根据现在应用处理中的实际需要,如“过分割、提高分类精度、多时相变化检测、变化目标检测、弱目标信息提取”等以及遥感数据智能处理体系建设的需要,做好引入人工智能算法的顶层设计;然后有计划地选择数学基础好、编程能力强的硕士和博士研究生,经过数届学生的潜心研发和努力,攻克一个个技术难关,完成了系列博士论文,在国际和国内专业刊物发表了百余篇论文,《遥感数据智能处理方法与程序设计》就是在这些工作的基础上,通过系统总结和概括编辑完成的。因此,本书具有以下显著的特点:算法软件开发密切结合了在研的遥感项目,具有很强的遥感应应用背景;内容的编排体系体现人工智能方法的体系特征,包括变换与分割、贝叶斯网络、伪二维隐马尔可夫、遗传算法、神经网络、模糊聚类、粗糙集与容差粗糙集、支持向量机、禁忌人工免疫网络算法、粒子滤波等算法与算法组合;本书还附带部分算法的软件程序光盘,希望能在在此基础上改进和完善,减少同水平重复工作。

第二版的内容上基本上延续了第一版的内容编排体系,增加了第4章伪二维隐马尔可夫,第3章增加了动态贝叶斯网络和推理,第6章增加了脉冲耦合神经网络,第8章增加了粗糙集分类算法的内容;另外增加了第9章支持向量机和第10章禁忌人工免疫网络算法,以及一些算法的执行程序和粒子滤波方法与应用实例。

本书介绍的内容已经编写成“遥感数据智能处理系统”,并且于2004年3月获得国家“计算机软件著作权登记证书”,登记号2004RS03738。第二版中申请“计算机软件著作权登记”的算法软件包括伪二维隐马尔可夫、脉冲耦合神经网络、禁忌人工免疫网络算法和贝叶斯网络扩展版。

全书分为11章。总体设计和框架由马建文设计完成。第1章绪论由马建文完成,从国内外发展现状角度出发,论述了本书的背景、意义、需求和技术定位,明确指出定量化、智能化和自动化是现代遥感图像处理领域发展的三个显著特征和客观发展规律。第2章主要由马建文、哈斯巴干和戴芹完成,给出了以专题性弱信息提取为 L_2 空间多维向量旋转分解、投影分解的算法和技术流程设计,以及小波变换高频替代融合等,这些算法都是作者根据特征信息提取和遥感数据特点从线性代数的众多理论中选择出来的,这说明线性代数中许多算法都有可能成为遥感图像处理新算法,这个方向的探索开发空间很大;判别函数与超平面主要是为第5章做一个理论铺垫;第3章由戴芹、李启青和陈雪完成。1986年出现的贝叶斯网络为统计学带来新的发展方向,集

中讨论了贝叶斯有向无环网络在多空间数据分类、推理和联合概率的表达。在第二版中增加了动态贝叶斯网络和推理部分,该算法突破了当前变化检测算法只能分时段完成的限制,实现了三个时相以上的变化检测和特征变化的因果显示。第4章主要由马建文、席小燕、温奇和方成荫完成,伪二维隐马尔可夫模型是在隐马尔可夫模型的基础上发展起来的,为变化目标的跟踪和检测提供了新的数学工具。构建伪二维隐马尔可夫距离的计算构架是本章的难点和重点,书中提供了变化目标的欧氏距离快速检测模式和伪二维隐马尔可夫距离模式及其应用结果分析,并展示了应用结果。第5章由李启青完成,主要介绍了遗传算法。遗传算法的全局最优搜索为多参数组合最优化求解提供了强有力的数学工具。书中列举了针对不同应用的技术实现步骤。第6章由哈斯巴干完成,在实现BP网络程序设计的基础上,完成了SOFM拓扑网络的设计和LVQ网络微调设计,提高了处理结果的精细程度。第二版中增加了由欧阳赞开发的动态拓扑网络结构,增强网络结构在训练竞争过程中的灵活性,更适合高光谱或复杂背景的分类。另外,还增加了李利伟完成的脉冲耦合神经网络算法。由于网络存在着对一个像元计算时同时激活周围像元的机制,该算法在解决过分割和欠分割方面显示出突出的处理效果。第7章由哈斯巴干和马建文完成,主要介绍了Mahalanobis距离采用椭球体作为聚类的准则,与Euclidean等距球体相比,更适合原始遥感数据的聚类。第8章由哈斯巴干完成,粗糙集理论出现在20世纪80年代,其基本思想是采用内外逼近的方法来确定过渡性边界区,这对于解决遥感图像中地物的过渡性边界和复杂边界的处理提供了数学支持。哈斯巴干利用容差粗糙集预处理复杂边界地表影像,有效地提高了BP网络的分类精度。在第二版中增加了由欧阳赞开发的直接用于分类的粗糙集算法。第二版增加了第9章支持向量机部分,主要由张睿完成。支持向量机(SVM)是一种新型的机器学习算法,它按照结构风险最小化原则,通过在特征向量的高维空间寻找一个最优超平面的方式来解决分类问题。另外,在该章中引入了一种新型的支持向量机算法P-SVM,并且展示了这两种算法处理ASTER卫星影像和ADS40航空数字影像的分类过程和结果验证。第10章禁忌人工免疫网络算法也是第二版新增的内容,由马建文、李立伟与叶发茂共同完成,展示了针对实际问题协同发挥人工免疫网络和禁忌搜索各自优势的混合优化算法,尝试了对不同分辨率光学影像的自动融合以及光学与SAR影像的自动配准。第11章粒子滤波为新增加的内容,由温奇完成,张睿进行了资料整理工作。介绍了粒子滤波的基本原理以及基于粒子滤波的红外弱小目标检测前跟踪框架。为了突出实用性,本书重点介绍算法特点、实现步骤与结果分析,更多的理论基础问题读者可以通过书中提供的参考文献查阅。

马建文和戴芹完成本书的第一版和出版编辑修改稿,马建文、张睿和陈雪完成了第二版内容的增补和修改。

本书在完成期间,童庆禧院士和李小文院士在百忙中给予了关心和支持;感谢北京大学徐希儒教授在研究方向和算法选择方面的热情指导;感谢 *International Journal of Remote Sensing*、*IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing*、*IGARSS* 等国际遥感期刊及会议论文的编审以及中国科学(D)、遥感学报、武汉大学学报(信息科学版)、电子学报、光学学报、计算机工程等国内多种刊物的编审,在本书的基本引用素材作为论文发表过程中提出修改建议和意见。

书中涉及的遥感数据智能处理局限于模式识别与分类中的具有智能特征或部分智能特征的算法,以及部分视频影像资料的处理算法。这些算法在支撑遥感数据智能处理命题时显得有些粗浅,好在本书介绍的是阶段性的工作成果,我们在不断充实遥感数据智能处理体系框架的同时,安排一些深度研究课题,对算法遗留问题进行深入研究。作者欢迎有兴趣的同事一道完成遥感事业发展赋予我们的任务。

本书出版获得国家高技术研究发展计划(“863”计划)地球观测与导航技术领域专题课题“遥感数据智能处理算法与系统集成”(No. 2006AA12Z130)与“卫星遥感 SAR 与光学影像自动配准与融合技术系统研究”(No. 2007AA12Z157)资助,在此表示感谢!

马建文

2009年8月8日

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 卫星遥感系统与任务	1
1.2 遥感数据处理任务与方法	2
1.3 本章小结	4
主要参考文献	5
第 2 章 变换与分割	6
2.1 引言	6
2.2 GIVENS 旋转变换与分解	6
2.3 Gram-Schmidt 向量空间投影变换	8
2.4 小波高频局部高频融合	11
2.5 判别函数与超平面分割	15
2.6 本章小结	16
主要参考文献	17
第 3 章 贝叶斯网络	18
3.1 引言	18
3.2 贝叶斯基础	18
3.3 贝叶斯网络推理与分类器	19
3.4 贝叶斯网络分类	25
3.5 动态贝叶斯网络	37
3.6 贝叶斯网络推理	50
3.7 本章小结	53
主要参考文献	53
第 4 章 伪二维隐马尔可夫	55
4.1 引言	55
4.2 伪二维隐马尔可夫基础	56
4.3 伪二维隐马尔可夫模型的目标识别	58
4.4 P2DHMM 目标检测实验	61
4.5 本章小结	66
主要参考文献	66

第 5 章 遗传算法	68
5.1 引言	68
5.2 遗传算法基础	70
5.3 遗传算法的进化规则	71
5.4 遥感遗传超平面分类	72
5.5 参数编解码及其实现	75
5.6 EOS/MODIS 图像数据分类实验	78
5.7 ETM+ 数据分类实验	80
5.8 遗传-匹配	85
5.9 遗传-边缘提取	92
5.10 本章小结	97
主要参考文献	98
第 6 章 神经网络	99
6.1 引言	99
6.2 神经网络的学习规则	100
6.3 BP 网络分类	103
6.4 SOFM-LVQ 网络分类	109
6.5 PCNN 神经网络	122
6.6 本章小结	128
主要参考文献	129
第 7 章 模糊聚类	131
7.1 引言	131
7.2 模糊聚类数学基础	131
7.3 模糊 C-均值聚类和改进的模糊 C-均值聚类	132
7.4 本章小结	136
主要参考文献	136
第 8 章 粗糙集与容差粗糙集	137
8.1 引言	137
8.2 粗糙集理论	137
8.3 容差粗糙集	141
8.4 容差粗糙集数据预处理算法	142
8.5 容差粗糙集与 BP 算法结合的分类实验	143
8.6 容差粗糙集监督分类	147
8.7 本章小结	153
主要参考文献	153
第 9 章 支持向量机	154
9.1 引言	154
9.2 支持向量机原理	154
9.3 新型支持向量机与遥感影像分类	159

9.4 本章小结	166
主要参考文献	166
第 10 章 禁忌人工免疫网络算法	168
10.1 引言	168
10.2 禁忌搜索和人工免疫网络	168
10.3 禁忌人工免疫网络算法设计与实现	171
10.4 基于禁忌人工免疫网络算法的影像自动配准	176
10.5 禁忌人工免疫网络算法的影像自动融合	184
10.6 本章小结	190
主要参考文献	191
第 11 章 粒子滤波	192
11.1 引言	192
11.2 粒子滤波原理	192
11.3 粒子滤波检测前跟踪框架	198
11.4 结合背景预测算法的粒子滤波检测前跟踪框架	212
11.5 本章小结	220
主要参考文献	221
彩图	223

第 1 章 绪 论

20 世纪 80 年代以来,生命科学与信息科学的结合成就了智能科学技术的快速发展,引领和带动了智能信息产品的不断更新换代,提高了大众的生活质量。同时,在国外和国内同行的努力下,在智能科学与遥感信息科学的交叉源头创新实践中,注重将智能算法自学习、自适应、自组织的演绎过程、概率推理过程与遥感信息机理和应用目标相结合,在帮助多星、多传感器、多时空过程的遥感数据处理和信息融合以及解决实际问题方面提供了新方法和新工具。遥感信息的智能处理能力,已经成为衡量遥感处理平台先进性的时代标志。

1.1 卫星遥感系统与任务

遥感对地观测系统与资源、环境和地球科学研究与应用密切结合,经历了三个阶段的探测过程。

20 世纪 70 年代初期开始的以探测地球资源为目标的空間计划,以美国 Landsat 陆地卫星 MSS-TM-ETM+、法国 SPOT-1~SPOT-5 卫星、欧洲地球资源卫星(ERS)、日本地球资源卫星(JERS)为代表,以至后来我国与巴西联合研制的资源卫星(CBERS1 和 CBERS2)也沿用了资源卫星的传感器有效载荷和指标体系。

20 世纪 80 年代开始了以地球环境和资源为目标的科学实验探测计划,随着工业的发展和生态环境的不断恶化,国际对地观测也逐渐将其注意力从资源勘察转向对生态环境等生命支撑元素体系的了解和变化检测。美国地球观测计划(EOS)^①、日本的 ADEOS 计划以及欧洲国家环境卫星(ENVISAT)的发射和运行,其目标旨在解决一系列对人类生存环境和社会发展有重大影响的科学和实际问题。这一系列计划吸引了全球广大科学家的注意和广泛参与。其中,中分辨率成像光谱仪(MODIS)、先进红外辐射仪(ASTER)以及多极化合成孔径雷达(SAR)等仪器为地球环境监测提供了新的观测和分析数据。

进入 21 世纪,卫星遥感进入了以地球系统天-地-生为观测对象的科学发展阶段。人们越来越认识到地球是一个完整的系统,在地球上所发生的事件和现象均是人、资源、生态环境与发展综合作用的结果。例如,地表森林减少→地球表面温度增加→地表水体蒸发量增加→大气中云和水汽增加→反射太阳能量增加等巨系统因果链的反应。为了科学地指导人与自然的可持续发展,继 EOS 之后,美国宇航局又提出了地球科学企业计划(ESE)^②,欧洲也制定了全球环境与安全监视计划(GMES)^③、地球生存计划(Living Planet Programme)^④、德国重力卫星计划(GOCE)等。这些计划是在已经使用过的遥感

① <http://www.eospo.gsfc.nasa.gov>

② <http://www.house.gov/science>

③ <http://www.gmes.info>

④ <http://www.eduspace.esa.int>

仪器和模型的基础上设计的,具备更强大的对地球生命支撑要素的探测能力,从而将对地观测目标提高到地球系统科学研究的阶段。系列卫星的形成与发展,对遥感应用处理技术的发展方向产生了重要的影响。例如,PCI Geomatica^①和 ENVI^②等以统计学为主的遥感处理软件系统,增加了具有自适应性、鲁棒性、全局优化以及并行计算等特点的智能处理算法以及针对高光谱和雷达数据的物理模型定量参数反演模块。综合处理能力的提高成为这个阶段图像处理系统发展所追求的目标。

1.2 遥感数据处理任务与方法

遥感数据处理系统是卫星地面系统的一部分,卫星遥感信号只有通过处理才能转换为可以使用的图像信息,包括辐射校正和几何校正的遥感数据系统处理,以及图像产品标准处理等。相对于遥感卫星传感器的数据获取任务,遥感数据处理系统可以划分为系统处理和应用处理两个部分。系统处理的任务是将传感器获取的信号转换成可以辨识的数字图像;应用处理的任務面向不同的用户,将数字图像处理成用户需要的专题信息或知识。对于 Landsat MSS、TM、ETM+、SPOT1~SPOT4 和 CBERS1、CBERS2 等 30-10m 分辨率卫星数据,俗称为“使用量大、应用面广的百家星”数据。例如,卫星遥感提供的植被指数信息(NDVI)是初级生产率的基础数据,也是生态环境变化检测的重要依据。

基于地球大气、海洋和陆地的生物物理特性建立的模型处理,没有上述明显的两阶段界线可以划分,是经过一个模型将遥感信号直接转变为一种物理量。

1.2.1 传统遥感数据处理方法与系统

第一颗以扫描数字记录方式工作的多光谱遥感卫星传感器(MSS)数据于 20 世纪 70 年代初期开始提供使用,美国 I²s 数字图像处理系统同时提供使用。I²s 数字图像处理系统中的基本算法包括校正、匹配、波段运算、对比增强、滤波、分类和变换等七大基本功能。经过 30 年的发展,硬件的高性能和小型化,遥感数据量大的硬件“瓶颈”已经不再存在,并且以 PCI Geomatica、ENVI 和 ERDAS^③ 遥感图像处理主流软件为代表,扩展了雷达处理软件模块、高光谱处理模块,增加了空间分析和三维显示模块。目前,传统遥感数据处理系统以其功能齐全、稳定、操作简单的性能优势承担着国家各部门运行系统的图像处理任务。

功能比较齐全的国产遥感图像处理软件出现在 20 世纪 70 年代中期,代表软件是中国科学院遥感应用研究所开发的 IRSA-1。经过国家“863”计划的连续支持与发展,当前代表软件有 IRSA-5^④、Imageinfo-1^⑤ 和 TITAN-1^⑥,这些软件除了包括遥感图像处理的七种基本功能外,还包括雷达、高光谱处理模块和三维显示模块,实现了功能上的“一步

① <http://www.pcigeomatics.com>

② <http://www.itvis.com/ENVI>

③ <http://www.erdas.com>

④ 中国科学院遥感应用研究所开发

⑤ 中国测绘科学研究院开发

⑥ 北京东方泰坦科技有限公司开发

到位”和开发阶段的“跨越”，这些软件系统已经被一些部门使用。

1.2.2 遥感数据智能处理方法

人工智能的核心命题是模式识别。人可以很容易地将发生在周围的各种自然现象、非自然现象鉴别出来，这其中包含了极其复杂的识别行为过程。遥感图像的模式识别要用计算机提取各种传感器获取的光谱信息、空间和时间变化信息以及这些信息所表达的农业、林业、地质调查、测绘、城市规划、资源环境调查和灾害等实体模式的要素集合。传感仪器可以接收可见光以外的电磁波信息，这是视觉能力达不到的电磁范围；另外，遥感图像大范围获取能力和重复观测能力都是视觉系统难以实现的。于是我们希望能够设计出具有自学习、自推理、自适应、鲁棒性能力和提高计算效率的计算机目标识别算法、分类器和变化检测器，弥补视觉系统的不足，并辅助完成科研和生产任务(Castleman, 1996; Schowengerdt, 1997; Duda et al., 2003; Russell and Nrvig, 2003)。

我国遥感智能信息处理的理论探索和算法开发与国际同步，实验孕育期已经基本完成，形成了较厚实的积累和强烈的研发氛围，已进入梳理思路、筛选算法、整合系统和重点深入的新阶段。随着各类遥感传感器的发展以及高分辨率的发展，多源、多时相、多分辨率的遥感影像数据越来越多，应用的精度要求越来越高，这就使得基于遥感影像的智能信息提取任务变得越来越紧迫。“十一五”“863”计划地球观测与导航技术领域高屋建瓴地支持“智能遥感数据处理”的发展，期待着我国科学家和应用专家共同努力，发挥智能算法自学习、自适应、自组织的优良机制，利用智能算法的最优搜索、不确定推理过程的容错、鲁棒等性质，为帮助克服和解决遥感数据—信息—知识的转化所面临的关键与核心问题作出突出贡献(马建文等, 2005)。

1.2.3 遥感数据处理的物理模型定量方法

传感器是利用某种转换功能，将物理、化学、生物等外界信号转变成直接测量的信号的器件。要准确地将遥感传感器接收到的大气、海洋、陆地信号转换成图像信号必须预先知道支配这种转换行为的科学法则和测量目标与传感器件之间的定标，实现生物物理模型的正确反演。

EOS AM1 载荷的传感仪器和主要观测对象，见表 1.1。

表 1.1 EOS AM1 载荷的传感仪器和主要观测对象

地球圈层	探测物理量内容	EOS AM1 传感仪器
大气	云性质	MODIS, MISR, ASTER
	降水	CERES, MODIS, MISR
	平流层化学	MOPITT
	对流层化学	
	气溶胶性质	MISR, MODIS
	大气温度	MODIS
	大气湿度	MODIS

续表

地球圈层	探测物理量内容	EOS AM1 传感仪器
陆地	地表覆盖/变化	
	植被	MODIS, MISA, ASTER
	地表温度	MODIS, MISA, ASTER
	地表湿度	MODIS, ASTER
	火灾	MODIS, ASTER
	火山	MODIS, ASTER
海洋	反照率	
	表面温度	MODIS
	浮游生物和可溶有机物	MODIS, MISR
冰雪圈	陆地冰雪变化	ASTER
	海冰	MODIS, ASTER
太阳辐射	太阳辐射通量	CERES, MODIS, MISR

例如,利用 MODIS 通道比获取水汽透射率。不同下垫面在同一波长的反射率不同,假设地面反射率不随波长变化,那么路径辐射只是太阳直接反射项,在水汽吸收通道中,水汽的透过率就可以通过一个水汽吸收通道和一个窗区通道的比值获得,MODIS 0.94 通道的透过率可以表示为

$$T_{\text{obs}}(0.94\mu\text{m}) = \rho^*(0.94\mu\text{m}) / \rho^*(0.865\mu\text{m})$$

如果地面反射率随波长呈线性变化,水汽吸收通道中的水汽透过率就可通过一个吸收通道与两个窗区的比值获得,MODIS 0.94 通道的透过率可以改写为

$$T_{\text{obs}}(0.94\mu\text{m}) = \rho^*(0.94\mu\text{m}) / [C1\rho^*(0.865\mu\text{m}) + C2\rho^*(1.24\mu\text{m})]$$

式中: $C1=0.8$; $C2=0.2$ 。

从 MODIS 水汽通道中反演水汽信息的方法与通过 DN 值模式识别和分类的方法不同的是,通道经过水汽探测能力定标,反演算法也在实验室完成。这种方法有时也被称为遥感数据处理的自然模式。

1.3 本章小结

遥感数字图像处理经历了 40 多年的发展,量化、智能化和自动化已成为现代遥感图像处理领域发展的三个显著特征和发展趋势。

传统的遥感数据处理系统不断吸收非线性智能算法,扩展了空间分析与处理不确定不完整信息的能力;吸收了基于物理模型的高光谱、雷达等处理模块,体现了通过物理模型将遥感数据直接转变为反应地物特性的物理量、生物量的量化趋势。为了适应多传感器、多空间和时间尺度遥感数据处理需求,自动匹配融合与同化技术发展迅速,出现了光学与 SAR 自动快速融合技术、四维变分法融合技术。这些技术的发展克服了多时空分辨率遥感数据应用处理中的实际问题,扩大了遥感信息的应用广度和深度。

总之,我们需要进行预处理、模式识别、结果分析和信息反馈等基本操作才能完成一个计算机处理过程。多年来我们一直努力使这个过程与遥感应用信息产生过程的机理