

遥感数据智能处理方法 与程序设计

马建文 李启青 等著
哈斯巴干 戴芹



科学出版社

www.sciencep.com

遥感数据智能处理方法 与程序设计

马建文 李启青 哈斯巴干 戴 芹 等著

遥感科学国家重点实验室基金资助

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是作者十余年来跟踪国际前沿,密切结合应用需求,将统计学、智能算法与遥感信息机理密切结合,在学科交叉过程寻找突破口所取得的一些新进展和成果总结。本书主要内容包括多波段遥感数据的变换与分割、贝叶斯网络、进化计算、神经网络、模糊聚类、容差粗糙集等空间统计分析方法,书后给出部分算法的 C/C++ 源程序代码。

本书适合广大从事遥感技术、遥感信息机理与应用和遥感图像处理的本科生使用,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. —北京:科学出版社, 2005

ISBN 7-03-015094-5

I. 遥… II. 马… III. ①遥感数据-数据处理②遥感数据-程序设计
IV. TP7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 015260 号

责任编辑:彭胜潮 韩 鹏 / 责任校对:张 琪

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:王 浩

(本书源代码电子版可在本社网站下载区查阅)

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

*

2005 年 7 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2005 年 7 月第一次印刷 印张:15 1/2 插页:4

印数:1—2 500

字数:351 000

定价:48.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

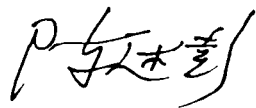
序

中国科学院遥感应用研究所创新基地研究员马建文,20余年来一直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,才能柳暗花明,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,与计算技术中智能算法相结合,力图加深对遥感物理信息进行深度的知识挖掘,进行了大量的数学推导和实际验证工作,探索走向系统集成的新路子。本书内容丰富,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。

诚为作者所指出,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的局限性。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,远不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、人文科学的信息传递的机理,进行更高层次的系统集成,来研究新的解决方案,设计新的算法。庖丁解牛,迎刃而解,岂能一蹴而就?!捧读本书,让我们结识了智能化这位巨人,希望借助他的托举,让我们更迅捷地去攀登遥感图像处理、知识挖掘的高峰。

中国科学院院士



2005年5月11日

前言

遥感卫星数字获取技术和地面数字处理技术开始于 20 世纪 70 年代,30 多年过去了,我国不仅在气象卫星,而且在海洋和资源遥感卫星上都实现了传感器数字成像和地面数字处理。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到用户。遥感卫星应用已经在我国国民经济、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,国家领导人提出了实现小康社会的目标和国民经济与自然全面、统筹、协调发展的科学发展观。国家宏观决策、自然灾害监测、小城镇建设、绿色 GDP、国家安全等对遥感卫星信息和知识的依赖与需求更加迫切,对遥感应用的高质量处理提出更高的要求,同时也为遥感卫星技术与应用创造了前所未有的发展机遇。

遥感卫星的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。卫星应用处理面向国际国内两种遥感卫星数据资源,随着资源、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,将进一步促进遥感应用处理的“数学模式”的发展,引领遥感应用处理的生物物理参数反演的“物理模式”新方向。物理模式是量化反演地球系统支撑生命的大气、海洋和陆地的生物物理参数的模型与算法。

遥感卫星大气、海洋和陆地的生物物理参数获取与变化检测为目标的科学实验传感仪器和有效载荷的发展,促进了基于生物物理特性反演模型与算法的发展,成为遥感数据处理软件系统不断扩充的新模块。如加拿大的 PCI 遥感图像处理软件中的雷达模块是针对 Radarsat 数据和美国的 ENVI 遥感图像处理软件可以读取的 HDF 文件格式和高光谱软件处理模块等是针对 EOS-Terra-MODIS 数据。EOS-Terra 上搭载了 5 种仪器,先进的空间热辐射反射仪 (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);对流层污染探测仪 (MOPITT)。针对这些传感仪器取得的新观测内容和提供的新数据应用处理技术还在实验中,数字图像不断提供给用户,将有力地支持土地利用和土地覆盖研究、气候季节、年际变化和长期气候变化率研究,自然灾害监测和分析预测研究,大气臭氧变化等研究,实现对地球系统变化长期的观测、研究和决策,也将为下一代遥感卫星传感器提供验证和实验数据。

数学模式是基于传统统计学基础的计算机遥感数据处理软件系统,包括图像增强、图像滤波、图像变换、图像分析和分类等基本功能。数学模式具有坚实的数学基础,是应用处理使用面大、应用量广的模式。近年来,数学模式中也在不断吸收和集成线性、非线性数学研究成果,如贝叶斯网络、神经网络、遗传算法、模糊数学、粗糙集和小波变换等。

遥感应用处理界从不同角度、不同的途径进行了大量的探索,希望能够设计出具有自学习、自推理、自适应能力和提高计算效率的目标识别算法和分类器。在这种背景的促使下,作者根据多年来从事遥感图像处理的经验 and 理论探索,首先根据需求做好顶层设计,然后选择数学基础好和编程能力强的博士研究生,经过四届学生的潜心研发,攻克一个个技术难关,完成了系列博士论文。本书就是在这些工作的基础上通过系统总结和

概括编辑完成,具有以下显著的特点:密切结合遥感数据的特点和发展方向,具有很强的应用背景;内容较全,包括投影与变换、贝叶斯网络、进化计算、神经网络、模糊聚类、容差粗糙集等;书中还给出 C/C++ 实现部分代码,希望能在此基础上改进和完善,减少同水平重复工作;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”,登记号为 2004RS03738。

全书分为 7 章。总体设计和框架由马建文、李启青、哈斯巴干完成。第一章绪论由马建文完成。从国内外发展现状出发,论述了本书的意义、需求和技术定位。第二章主要由马建文、刘素红、哈斯巴干和戴芹完成。本章给出了以专题性弱信息提取为目标的多维空间向量旋转分解、投影分解算法和技术流程设计和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,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四章做一个理论铺垫和减少篇幅。第三章主要由戴芹、李启青和陈雪完成。本章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,贝叶斯网络在变化检测方面也具有很大的拓展空间。第四章主要由李启青完成。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,书中列举的不同应用提供了技术实现步骤。第五章由哈斯巴干完成。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 网络微调设计并提高了处理结果的精细程度。第六章由哈斯巴干和马建文完成。本章主要介绍了 Mahalanobis 距离是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方法。第七章由哈斯巴干完成。粗糙集理论出现在 20 世纪 80 年代,粗糙集基本思想是采用内与外逼近的方法来确定过渡性边界,这为解决遥感图像中地物的过渡性边界提供了数学支持。附录中提供给读者的是一部分源程序,程序均采用 C/C++ 语言,版权属于中国科学院遥感应用研究所。马建文完成本书的第一稿和出版编辑修改稿。

在本书完成期间,得到了童庆禧院士、李小文院士所长的关心和支持;当我们取得一点儿进展就给予鼓励,点滴鼓励成为我们奋进的动力。感谢北京大学徐希孺教授在研究方向和算法选择方面的热情指导;感谢中国科学(D 辑),INT. J. Remote Sensing 以及国内编审过本书中引用论文的编辑,对本书的基本素材所提出的修改建议和意见,将问题处理在素材准备过程中。

本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,这些算法在支撑遥感数据智能处理命题显得有些单薄,好在这本书介绍的是我们阶段性的工作成果,我们还要不断充实这个框架,同时也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。

目 录

序

前 言

第一章 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)
1.2.1 传统遥感数据处理方法与系统	(2)
1.2.2 遥感数据智能处理方法	(2)
1.2.3 遥感数据处理的物理模型方法	(3)
1.3 本章小结	(4)
主要参考文献	(5)
第二章 多波段遥感数据的变换与分割	(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	(9)
2.4 小波高频局部高频融合	(12)
2.4.1 小波变换与 IHS 变换结合进行局部替代的方法	(12)
2.4.2 基于小波变换进行局部替代的融合算法	(13)
2.4.3 试验和数据分析	(14)
2.5 判别函数与超平面	(16)
2.6 本章小结	(17)
主要参考文献	(17)
第三章 贝叶斯网络	(19)
3.1 引言	(19)
3.2 贝叶斯基础	(19)
3.3 贝叶斯网络推理与分类器	(20)
3.3.1 贝叶斯网络推理	(20)
3.3.2 贝叶斯网络基本分类器	(23)
3.3.3 一种综合性的贝叶斯网络分类器	(24)
3.4 遥感数据的贝叶斯网络分类	(26)
3.4.1 贝叶斯网络分类	(26)
3.4.2 基于贝叶斯网络分类的遥感数据变化检测	(30)
3.4.3 ASTER 数据的多层贝叶斯网络分类	(33)
3.4.4 航空影像的贝叶斯网络分类	(36)

3.5	贝叶斯网络分类方法与最大似然分类方法的对比	(39)
3.5.1	学习机制对比	(39)
3.5.2	方法选择	(40)
3.5.3	实验的技术流程与分类结果对比	(41)
3.6	本章小结	(45)
	主要参考文献	(45)
第四章	遗传算法	(47)
4.1	引言	(47)
4.2	遗传算法基础	(49)
4.3	遗传算法的进化规则	(50)
4.3.1	规则1——编解码变换与遗传算子设计	(50)
4.3.2	规则2——群体设定和初始化	(51)
4.3.3	规则3——适应度函数设计	(51)
4.4	遥感数据处理中应用的遗传算法类型	(51)
4.4.1	遥感数据的特征	(51)
4.4.2	遗传算法的类型	(53)
4.4.3	遗传-超平面分类	(53)
4.5	超平面模型及其分类原理	(54)
4.5.1	超平面方程	(54)
4.5.2	遥感多维图像数据的超平面分类原理	(55)
4.6	遗传超平面分类器原理	(55)
4.6.1	点模式的描述及其匹配统计	(56)
4.6.2	遗传算子	(56)
4.6.3	适应度值的计算	(57)
4.7	参数编解码及其实现	(57)
4.7.1	二进制编码	(57)
4.7.2	二进制解码	(59)
4.8	EOS/MODIS 图像数据分类实验	(60)
4.8.1	简单参数的分类实验	(60)
4.8.2	实验结果及其分析	(60)
4.9	ETM + 数据分类实验	(62)
4.9.1	参数选择实验与分析	(62)
4.9.2	分类结果及其分析	(66)
4.10	遗传-匹配	(67)
4.10.1	遥感图像匹配	(67)
4.10.2	模板匹配与遗传算法	(68)
4.10.3	图像目标匹配定位的数学模型	(69)
4.10.4	遗传优化的图像定位方法	(70)

4.10.5 实验结果及其分析	(73)
4.11 遗传-边缘提取	(75)
4.11.1 遥感空间信息提取	(75)
4.11.2 遥感数据灰度分解与边缘信息提取	(78)
4.11.3 图像处理实验及其效果分析	(79)
4.12 本章小结	(80)
主要参考文献	(80)
第五章 神经网络	(85)
5.1 引言	(85)
5.2 神经网络的学习规则	(87)
5.3 BP 网络分类	(89)
5.3.1 BP 算法	(89)
5.3.2 遥感应用	(91)
5.4 SOFM-LVQ 网络分类	(96)
5.4.1 自组织特征映射神经网络与学习矢量量化的原理	(96)
5.4.2 自组织特征映射神经网络与矢量量化的算法步骤	(97)
5.4.3 TM 数据的自组织特征映射神经网络分类实验	(99)
5.4.4 小波融合与自组织神经网络的算法的组合分类实验	(100)
5.4.5 对多波段遥感数据降维的分类实验	(104)
5.5 本章小结	(109)
主要参考文献	(110)
第六章 模糊聚类	(112)
6.1 引言	(112)
6.2 模糊聚类数学基础	(112)
6.3 模糊 C-均值聚类和改进的模糊 C-均值聚类	(113)
6.3.1 模糊 C-均值聚类数学基础	(113)
6.3.2 改进的模糊 C-均值聚类及实例分析	(116)
6.4 本章小结	(117)
主要参考文献	(117)
第七章 粗糙集与容差粗糙集	(119)
7.1 引言	(119)
7.2 粗糙集理论	(119)
7.2.1 知识与知识库	(119)
7.2.2 信息表知识表达系统,近似与粗糙集	(120)
7.2.3 粗糙度与分类质量	(121)
7.3 容差粗糙集	(123)
7.3.1 不完备信息系统	(123)
7.3.2 容差关系与容差粗糙集	(123)

7.4	容差粗糙集数据预处理算法	(124)
7.5	容差粗糙集与 BP 算法结合的分类实验	(125)
7.5.1	容差粗糙集分类预处理算法	(125)
7.5.2	分类实验	(126)
7.6	本章小结	(129)
	主要参考文献	(130)
附录一	数字图像角度旋转变换的 C/C++ 实现	(131)
附录二	数字图像 Gram-Schmidt 投影变换的 C/C++ 实现	(154)
附录三	数字图像遗传-超平面分割的 C/C++ 实现	(181)
附录四	BP 网络的 C/C++ 实现	(211)
附录五	模糊 C 聚类 (Mahalanobis 距离) 的 C/C++ 程序实现	(231)
彩 图		

第一章 绪 论

根据遥感卫星数据处理的目的将遥感卫星数据处理划分为系统处理和应用处理两大部分。随着遥感卫星传感器探测目标的专一化,空间数据的积累和应用不断地扩大以及遥感卫星获取技术与资源、环境和地球系统科学的密切结合等,对遥感应用处理提出了新的要求和更高的标准,遥感应用处理也出现两个明显的发展模式:第一,传统的统计计算模式。遥感应用处理系统中新方法在不断增加,特别是注意吸收线性、非线性算法,而算法复杂程度也在增加。第二,以生物物理反演模型为基础的“自然模式”。加强传感器、地物特性与辐射传输特征的物理模型研究,经过一个模型将遥感数据直接转变为反映地物特性的物理量。

本书集中了我们近年来线性、非线性处理算法以及算法组合方面探索的成果,反映了遥感应用处理智能方法研究的最新进展。

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的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间计划、美国 Landsat 陆地卫星 MSS-TM-ETM+、法国 SPOT1-5 卫星、欧洲地球资源卫星(ERS)、日本地球资源卫星(JERS)以及后来中国与巴西联合研制的资源卫星(CBERS 1-2)都沿用了资源卫星的传感器有效载荷和指标体系。

20 世纪 80 年代开始的以地球环境+资源为目标的科学实验探测计划,随着工业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)、日本的 ADEOS 计划以及欧洲国家环境卫星(ENVISAT)的发射和运行(ENVISAT)等都将目标放在解决一系列与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的参与。其中中分辨率成像光谱仪(MODIS)、先进的红外辐射仪(ASTER)以及多极化 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。人们愈来愈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。如地表森林的减少→导致地球表面温度的增加→导致地表水体的蒸发量增加→导致大气中云和水汽的增加→导致反射太阳能量的增加等巨系统的因果链的反应。为了科学地指导人与自然的可持续发展,继 EOS 之后美宇航局又提出了“地球科学企业计划”(ESE),欧洲也制定了全球环境与安全监视计划(GMES),这些计划是在已经使用过的遥感仪器和模型的基础上设计的,将具有更多地球生命支撑

要素的探测能力,从而将对地观测目标提高到了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。如 PCI 和 ENVI 等统计学为主的处理软件系统,增加了具有自适应性、鲁棒性、全局优化以及并行计算的智能处理算法以及针对 MODIS 数据和 Radarsat 数据的物理模型定量反演地表参数模块(马建文等,2003;PCI;ENVI;刘玉洁等,2001;RSIM,2003;Imageinfo V1.0,2003;TITAN,2003)。

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,包括相对辐射校正和相对几何校正的遥感数据系统处理,图像产品标准处理。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,应用处理的任务上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+,SPOT1-5 和 CEBERS 1-2 等 30~10m 分辨率卫星数据,被俗称为“使用量大、应用面广的百家星”数据,需求量大,应用面广。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,没有上述明显的三阶段界线可以划分,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

当第一颗以扫描数字记录方式工作的多光谱遥感卫星(MSS)数据于 20 世纪 70 年代初期开始提供使用时,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。由于 I²s 数字图像处理系统与硬件构成的专用大型设备,逐步被替代。经过 30 年的发展,随着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,以 PCI、ENVI 和 RDAEAS 遥感图像处理主流软件作对比,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。基本处理功能中增加了 BP 算法、小波变换等。目前,传统遥感数据处理系统以其功能齐全、稳定、操作简单仍是承担国家各部门运行系统图像处理任务的主流软件系统。

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,代表软件为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,当前代表性软件有 RSIM(IRSA-5),Imageinfo-1 和 TITAN-1,这些软件除了包括遥感图像处理的七种基本功能外,还包括了雷达、高光谱处理模块和三维显示模块,实现了功能上“一步到位”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。人的识别系统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,这个背后包含了极其复杂的识别行为过程。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地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生产任务。遥感图像的模式识别是要用计算机去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。

遥感数据智能处理方法或模式识别方法包括三个部分:预处理、特征提取与选择和分类判别(图 1.1)。与传统的遥感数据处理系统相比较,遥感数据智能处理方法具有鲜明的面向对象的特点,属于应用处理的重要组成部分。

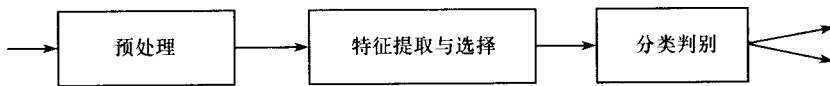


图 1.1 遥感数据智能处理的三个基本步骤

本书介绍的遥感数据智能处理系统集成成了贝叶斯网络、进化计算、神经网络、模糊聚类、容差粗糙集等算法,这些算法是经过四届博士研究生的潜心研发,攻克一个个技术难关完成的。它具有以下显著特点:密切结合遥感数据的特点和发展方向,具有很强的应用背景,功能较齐全。

1.2.3 遥感数据处理的物理模型方法

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,定义为可以惟一、而且重现性好地将外界信号转换成电信号的元器件。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,这种来自于地球系统响应信号的应用处理方法称为自然模式。

EOS AM1 载荷的传感仪器和主要观测对象,见表 1.1。

如利用 MODIS 通道比获取水汽透射率:其基本原理是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射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

$$T_{\text{obs}}(0.94\mu\text{m}) = \rho^*(0.94\mu\text{m}) / [C_1\rho^*(0.865\mu\text{m}) + C_2\rho^*(1.24\mu\text{m})]$$

式中, $C_1 = 0.8$, $C_2 = 0.2$ 。

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
陆地	地表覆盖/变化	MODIS, MISA, ASTER
	植被	MODIS, MISA, ASTER
	地表温度	MODIS, ASTER
	地表湿度	MODIS, ASTER
	火灾	MODIS, ASTER
	火山	MODIS, ASTER
	反照率	
海洋	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

1.3 本章小结

新的遥感卫星传感器设备为我们提供了超越已有知识的平台,是解决我国研究人口、资源、环境和发展问题不可或缺的工具,是通过遥感数据处理将遥感信号转变为可以使用的图像信息的关键环节。在经历了 30 多年的发展后,遥感数据处理方法的探索也呈现出两个明显的方向:传统的遥感数据处理系统不断吸收非线性算法,扩展了空间分析与显示能力;不断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映地物特性的物理量、生物量的定量化趋势。本书将集中介绍我们近年来在遥感数据智能处理算法以及算法组合方面的成果。在将这些算法引入到遥感数据处理中主要考虑面临的问题、遥感数据的特点和算法的适用性等问题。

总之,我们需要进行预处理、特征提取和分类等三种基本操作才能完成一个计算机模式识别过程。要想使引进新算法得到理想的结果,必须知道算法实现的每个步骤在系统三个部分中所起的作用,然后,嵌入特定领域的背景知识或先验知识来选择特征和帮助减少并且克服遇到的种种问题。

主 要 参 考 文 献

- 刘玉洁,杨忠东等. 2001. MODIS 遥感信息处理原理与算法. 北京:科学出版社
- 马建文,赵忠明,布和敖斯尔. 2003. 遥感数据模型与处理方法. 北京:中国科学技术出版社
- ENVISAT;<http://www.envisat.esa.int>
- EOS 计划;http://www.eospso.gsfc.nasa.gov/science_plan
- ESE 计划;<http://www.house.gov/science>
- ENVI 遥感图像处理软件;<http://www.RSInc.com/envi>
- GMES 计划: <http://www.gmes.info/Global Monitoring for Environment and Security -Forums>
- PCI 遥感图像处理软件;<http://www.pcigeomatics.com/support>

第二章 多波段遥感数据的变换与分割

2.1 引言

本章给出了矩阵变换与分解的 GIVENS 算法、向量空间的 Gram-Schmidt 投影变换(张贤达,1997)。当采用主成分变换选择不能从 TM6 个多波段中提取蚀变信息时,设想也许提取特征光谱信息的变换角度并非是 90° , 选择了 GIVENS 多维向量空间旋转算法取得了比较满意的结果。当考虑能否使用目标的光谱信息,将 TM6 个波段的有用的、但是较为弱信息累加起来,使弱信息在图像中从不可见到可见,选择了 Gram-Schmidt 向量空间投影变换,核心算法是在 L_2 空间的均方差最小判断和根据判断对信息进行取舍。小波变换由于具有良好的时频局部化特征、尺度变化特征和方向性特征被用在遥感(全色) PAN 波段和多光谱波段融合中。超平面(hyperplane)是在多维空间中寻找线性判别函数问题,在本章中介绍超平面是为第四章遗传-超平面做准备。

2.2 GIVENS 旋转变换与分解

数学上,主成分分析就是多维向量空间中的一种线性变换,即 $Y = CX$, 其中 X 为原始数据, C 为变换矩阵, Y 为变换后的数据。向量空间线性变换相应于空间域坐标轴的旋转,主成分在原始数据上的载荷因子就是变换后的坐标轴。多波段遥感 TM 数据主成分分析,通过计算波段数据方差协方差矩阵的特征值和特征向量。将特征向量作为主因子的方向,变换后的主因子轴间彼此独立,互不相关。在实际应用时,由于主成分变换展示数据信息反映多维向量空间中的主要特征,而将一些不主要的却是反映岩性的信息忽略了。在地质找矿中,岩性是成矿物质条件。为了充分挖掘和显示遥感数据中这部分信息,开发了逐步正交变换的方法。

多因子逐步正交变换是利用矩阵对角化分解的思想,对多波段遥感数据方差协方差矩阵 A 进行多步旋转,每一步旋转特征轴表示的角度不同,以达到分离目标信息的效果。

$$C = P_1 P_2 P_3 \cdots P_n \quad (2.1)$$

式中 C 是正交矩阵, $C^T = C^{-1}$ 。上式表示 C 可分解为一系列简单正交矩阵的乘积,其中

$$P_i = U_{pq} \quad (2.2)$$

U_{pq} 是单位向量的 $(p, q), (q, p), (p, p), (q, q)$ 位置上替换的正交分量,如下列矩阵所示:

$$\begin{matrix}
 & \begin{matrix} p & q \end{matrix} \\
 \begin{matrix} 1 & 0 & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & 0 \end{matrix} \\
 \begin{matrix} 0 & 1 & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \end{matrix} \\
 \begin{matrix} \cdots & \cdots & 1 & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \end{matrix} \\
 \begin{matrix} \cdots & \cdots & \cdots & \cos\theta & \cdots & \sin\theta & \cdots & \cdots \end{matrix} \\
 \begin{matrix} \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & 1 & \cdots & \cdots & \cdots \end{matrix} \\
 \begin{matrix} \cdots & \cdots & \cdots & -\sin\theta & \cdots & \cos\theta & \cdots & \cdots \end{matrix} \\
 \begin{matrix} \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & 1 & 0 \end{matrix} \\
 \begin{matrix} 0 & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & 0 & 1 \end{matrix}
 \end{matrix} \quad (2.3)$$

上面矩阵中对角线上省略元素为 1, 非对角线上省略元素为 0。

得到

$$\begin{aligned}
 b_{pp} &= a_{pp} \cos^2 \theta - 2a_{pq} \sin \theta \cos \theta + a_{qq} \sin^2 \theta \\
 b_{qq} &= a_{pp} \sin^2 \theta + 2a_{pq} \sin \theta \cos \theta + a_{qq} \cos^2 \theta \\
 b_{pq} &= b_{qp} = (a_{pp} - a_{qq}) \sin \theta \cos \theta + a_{pq} (\cos^2 \theta - \sin^2 \theta) \\
 b_{pj} &= a_{pj} \cos \theta - a_{qj} \sin \theta \quad j \neq q \\
 b_{qj} &= a_{pj} \sin \theta + a_{qj} \cos \theta \quad j \neq p \\
 b_{ij} &= a_{ij} \quad i, j \neq p, q \\
 u_{pp} &= u_{qq} = \cos \theta \\
 u_{pq} &= -u_{qp} = \sin \theta \\
 u_{ii} &= 1 \\
 u_{ij} &= 0 \quad i \neq j \\
 B &= u_{pq}^T A u_{pq}
 \end{aligned}$$

为了使非对角元素为零, 即 (2.4)

$$\begin{aligned}
 b_{pq} &= b_{qp} = 0 \\
 (a_{pp} - a_{qq}) \sin \theta \cos \theta + a_{pq} (\cos^2 \theta - \sin^2 \theta) &= 0 \\
 \operatorname{ctg}(2\theta) &= \frac{a_{pp} - a_{qq}}{2a_{pq}} \quad (2.5)
 \end{aligned}$$

U_{pq} 矩阵的作用就是将主对角线上的元素不断增加, 非对角线上的元素的值不断降低, 每一次旋转, 就得到 p 和 q 两个因子方差最大的正交轴, 也就是使得 p 和 q 两个新向量之间互相独立, 协方差为零。通过两两建立相互正交轴, 反复迭代, 最终能够获得全部的方差最大的正交轴, 当方差协方差矩阵旋转成对角矩阵时, 得到的特征值和特征向量为主成分分析的结果。通过对旋转过程中变量载荷因子的分析, 得到不同旋转位置在原始数据的载荷分配, 从而达到突出和提取有用的岩性信息的目的。

迭代变换的另一个重要作用在于它提供了一种能够从角度来分析主成分变换结果的可能性。最终迭代结果如下面矩阵