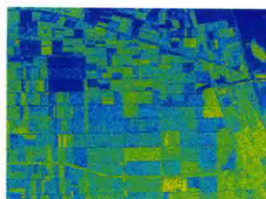


极化SAR影像超像素分割和 面向对象分类方法

覃发超 编著



科学出版社

极化 SAR 影像超像素分割 和面向对象分类方法

覃发超 编著

科学出版社

北京

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229,010-64034315,13501151303

内 容 简 介

本书以提高全极化合成孔径雷达(SAR)影像处理速度及解译精度为目标,系统研究极化雷达基础理论及现有的极化 SAR 分割、分类方法,并提出新的算法。全书内容包括:介绍极化 SAR 影像分割分类的研究动态;系统阐述雷达极化测量的基本理论;深入研究极化目标基本散射机制模型及其特点,在此基础上进一步研究极化目标分解理论及典型方法;参考光学图像分割中的数学算法,结合目前极化 SAR 影像分割算法细节信息保持效果差、分割速度慢等研究现状,对极化 SAR 数据的特点从距离量度、聚类中心初始化、后处理等方面进行改进,提出 PoISLIC 超像素分割算法;将 RBM 算法和 AdaBoost 框架结合,一方面利用面向对象的思想克服极化 SAR 影像中相干斑噪声的影响并加快处理速度,另一方面利用基于深度学习模块的多分类器集成框架克服极化 SAR 影像中地物目标散射机理复杂、单一分类器难以实现高精度分类的问题,建立 RBM-AdaBoost 算法。

本书可作为高等院校遥感、测绘、GIS 和电子工程等相关专业的教学和研究参考,也是一本适用于雷达遥感研究人员、工程师等的参考书籍。

图书在版编目(CIP)数据

极化 SAR 影像超像素分割和面向对象分类方法/覃发超编著. —北京:科学出版社,2018.4

ISBN 978-7-03-055698-1

I. ①极… II. ①覃… III. ①遥感图象-数字图象处理-研究 IV. ①TP751.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 293629 号

责任编辑:杨光华/责任校对:郑佩佩

责任印制:彭 超/封面设计:苏 波

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>

武汉市首壹印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

开本: B5(720×1000)

2018 年 4 月第 一 版 印张: 7

2018 年 4 月第一次印刷 字数: 141 000

定价: 48.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

合成孔径雷达(synthetic aperture radar, SAR)技术是遥感技术的一个重要分支,具有全天时、全天候、对地物有一定穿透性等突出优点。与单极化 SAR 相比,全极化 SAR (polarimetric SAR, PolSAR)能够记录地物目标完整的极化散射信息,由于电磁波极化对地物目标的形状、属性和物理结构都非常敏感,利用全极化 SAR 信息可以大大提高地物目标分类的精度。然而,SAR 特殊的成像机制,造成 SAR 影像处理难度大、解译精度低等问题,限制了 SAR 的广泛应用。

本书以提高全极化 SAR 影像处理速度及解译精度为目标,基于面向对象的思想对极化 SAR 影像超像素分割及面向对象分类等方面进行深入研究。从极化 SAR 基本概念出发,概述极化 SAR 基础理论,包括极化电磁波的表征、极化 SAR 数据的矩阵描述、极化合成、极化 SAR 数据的统计特性、极化目标分解。然后讨论常用的极化 SAR 影像超像素分割及面向对象分类算法,如 Ncut 分割、GBMs 分割、SLIC 算法、Wishart 最大似然分类器、随机森林、集成学习、受限玻尔兹曼机(RBM)和自适应提升(AdaBoost)框架等。基于此,考虑到目前极化 SAR 影像分割分类的不足,将针对光学图像的简单线性迭代聚类(SLIC)算法引入极化影像处理领域,结合基于深度学习的多分类器集成算法和超像素分割及监督分类器,提出 PolSLIC 超像素分割算法和 RBM-AdaBoost 分类算法,并通过实验证明所提出的算法提高了运行速率,具有良好的分割效

果和分类精度。

具体研究内容与成果如下。

(1) 系统研究雷达极化测量的基本理论,包括极化电磁波的矢量化及矩阵描述、极化 SAR 数据的统计特性、极化合成等方面。深入研究极化目标基本散射机制模型及其特点,在此基础上进一步总结和研究极化目标分解理论及典型方法。

(2) 系统研究现有的极化 SAR 影像分割算法,针对现有算法处理速度慢、分割效果差等问题,将针对光学图像的简单线性迭代聚类(simple linear iterative clustering, SLIC)算法引入极化影像处理领域,并根据极化 SAR 数据的特点从距离量度、聚类中心初始化、后处理等方面进行改进,提出 PolSLIC 超像素分割算法。通过两组机载 L 波段数据进行实验,证明所提出的算法相比原始 SLIC 算法及目前极化 SAR 领域较常用的分割算法在处理速度及分割效果方面有明显的优势。

(3) 系统研究现有的极化 SAR 影像分类算法,将受限玻尔兹曼机(restricted Boltzmann machines, RBM)和自适应提升(adaptive boosting, AdaBoost)框架结合,一方面利用面向对象的思想克服极化 SAR 影像中相干斑噪声的影响并加快处理速度,另一方面利用基于深度学习模块的多分类器集成框架克服极化 SAR 影像中地物目标散射机理复杂、单一分类器难以实现高精度分类的问题,建立 RBM-AdaBoost 算法,避免对大体量数据的需求,更适合于面向对象的处理方法。通过机载 L 波段数据进行实验,证明该方法在分类精度方面优于堆叠 RBM 模型和其他常用的极化 SAR 分类方法。

完成本书,绝非我一个人的努力所得,而是源于团队的力量。中国矿业大学的朗丰铠老师和武汉大学的孙卫东老师给了我重要指导,尤其在最后两章的算法研究、改进方面给了我十分中肯的建议和巨大的帮助。西华师范大学的邓青春老师阅读论证了本书前两章的内容,并给予了宝贵的修改意见。蒋婷、徐珍、吴强建中和赵文琳四位研究生在成书后期,对本书内容进行了校对、修改和完善。对此,我致以衷心的感谢。

本书出版由以下项目资助:国家自然科学基金面上项目:GB-INSAR 图像误差特征分析与改正模型研究(项目编号:41474004)、四川省科技厅应用基础研究项目:面向对象的极化 SAR 影像灾情评估研究(项目编号:2018JY0318)、西华师范大学博士科研启动专项项目:面向对象的极化 SAR 影像地理应用研究(项目编号:17E033)、西华师范大学英才基金项目:基于极化 SAR 影像的土壤水分反演(项目编号:17YC122),在此表示感谢!

由于作者水平有限,书中难免有疏漏之处,恳请广大读者不吝赐教。

作 者

2017 年 7 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 合成孔径雷达(SAR)概述	1
1.2 极化 SAR 影像分类研究动态	2
1.3 极化 SAR 影像分割研究动态	5
1.4 本书内容和组织结构	8
1.4.1 主要内容	8
1.4.2 组织结构	9
第 2 章 极化 SAR 基本理论	11
2.1 极化电磁波的表征	11
2.1.1 极化椭圆	12
2.1.2 Jones 矢量	13
2.1.3 Stokes 矢量	14
2.2 极化 SAR 数据的矩阵描述	15
2.2.1 极化散射矩阵	15
2.2.2 协方差矩阵与相干矩阵	16
2.2.3 Mueller 矩阵	18
2.2.4 Stokes 矩阵	19
2.3 极化合成	20
2.4 极化 SAR 数据的统计特性	21

2.4.1 单极化 SAR 数据统计特性	22
2.4.2 全极化 SAR 数据统计特性	25
2.5 极化目标分解	27
2.5.1 基本散射机制	28
2.5.2 Pauli 分解	33
2.5.3 Cloude-Pottier 分解	35
2.5.4 Freeman-Durden 三分量分解	38
2.6 本章小结	40
第 3 章 极化 SAR 影像超像素分割	41
3.1 常用的超像素分割方法	42
3.1.1 Ncut 分割	42
3.1.2 GBMS 分割	46
3.2 PolSLIC 超像素分割	50
3.2.1 SLIC 算法	51
3.2.2 PolSLIC 算法	53
3.3 实验数据及其预处理	59
3.4 分割效果评价	61
3.4.1 与原始 SLIC 算法的比较	61
3.4.2 与 Ncut 和 GBMS 算法的比较	64
3.5 实验结论	67
3.6 本章小结	68
第 4 章 面向对象的极化 SAR 影像分类	69
4.1 常用的极化 SAR 分类器	70
4.1.1 Wishart 最大似然分类器	70
4.1.2 随机森林	71
4.2 集成学习基本思想	73
4.2.1 Bagging 方法	73
4.2.2 Boosting 方法	74
4.3 极化 SARRBM-AdaBoost 分类算法	76
4.3.1 受限玻尔兹曼机	76

4.3.2 自适应提升框架	78
4.3.3 RBM-AdaBoost 算法	79
4.4 实验数据及其预处理	80
4.5 实验结果分析	82
4.5.1 评价指标	82
4.5.2 RBM 分类效果分析	82
4.5.3 与其他方法的比较	86
4.6 实验结论	89
4.7 本章小结	90
参考文献	91
缩写索引	102

第 1 章 绪 论

1.1 合成孔径雷达(SAR)概述

合成孔径雷达(synthetic aperture radar, SAR)技术是遥感技术的一个重要分支,与可见光以及红外遥感相比, SAR 具有全天时、全天候、对地物有一定穿透性等突出优点,并且特征信号丰富,含有幅度、相位和极化等多种信息,因此从一出现便受到人们的重视。目前,无论发达国家还是发展中国家都在加大投入力度,竞相研究和发展 SAR 技术。由于 SAR 信息处理技术明显落后于信息获取技术,特别是实时自动解译技术仍然处于发展阶段,无法及时从大量的数据中发掘有用信息,使得 SAR 技术的推广应用受到限制。此外,极化 SAR 影像的人工判读和自动解译由于 SAR 影像特有的成像机理和 SAR 影像成像环境的复杂性而变得非常困难(周晓光,2008)。因此,如何对 SAR 影像做出快速而准确的目标解译,是当前亟需解决的一个难题,也是 SAR 影像处理领域的一个重要研究方向。

SAR 影像分类是遥感影像分类的重要组成部分,是 SAR 影像解译的重要研究内容,在地形制图、城市规划、地质勘探、森林参数估计、农作物生长状况监测及海冰探测、海洋环境监

测等方面都有很广泛的应用。但是由于缺乏对各种地物与电磁波之间的相互作用机理的深入理解,传统 SAR 影像地物分类主要依赖于后向散射强度信息,采用方法大都是针对光学影像的处理方法,再加上 SAR 影像固有的斑点噪声的影响,增加了从 SAR 影像中挖掘有效信息的难度,使得 SAR 影像特征提取的有效性低,SAR 影像分类精度难以满足实际需求。

与单极化 SAR 相比,全极化 SAR(polarimetric SAR, PolSAR)能够记录地物目标完整的极化散射信息,电磁波极化对地物目标的形状、属性和物理结构都非常敏感(郎丰铠,2014),因此利用全极化 SAR 测量能获得更多的地物目标信息,从而可以大大提高利用 SAR 数据进行地物目标分类的精度。1988 年,美国麻省理工学院的孔金瓯教授领衔的研究小组第一次利用极化 SAR 测量数据对地物进行分类(冯琦,2012;Kong et al.,1988),掀起了一股极化 SAR 图像分类的研究热潮(周晓光,2008),至今极化 SAR 图像分割分类仍是极化 SAR 图像处理领域的研究热点之一,并已成为 SAR 影像分类的主要研究方向。目前,欧美日等发达国家机载和星载极化 SAR 传感器已发展成熟,并且已经商业化,而国内机载极化 SAR 系统才研制成功不久,正处于蓬勃发展阶段。随着极化 SAR 传感器的发展成熟,可获取的极化 SAR 数据越来越丰富,极化 SAR 影像分割分类研究方兴未艾。

1.2 极化 SAR 影像分类研究动态

现在,全世界科技比较发达的国家都非常重视极化 SAR 影像分割分类方面的研究工作,很多国家已经取得了非常显著的成果。究其原因它们的极化 SAR 系统的成熟运行和对极化数据处理理论长期深入的研究。由于长期以来缺乏极化 SAR 影像实验数据及实验区验证数据,我国极化 SAR 影像分类方面的研究一直落后于国外,目前主要还处在对国外先进算法的跟踪和改进阶段。到目前为止,国内外学者已经提出很多极化 SAR 分类算法,根据不同的标准,这些算法可以有不同的划分方式(吴永辉,2007)。

(1) 根据是否需要人工选择训练样本,分为监督分类和非监督分类。

(2) 根据是否利用像素的空间相关性,分为基于像素的分类和基于区域/对象的分类。

(3) 根据所用的分类器,分为统计、知识、决策树(decision tree,DT)/随机森林(random forests,RF)、支持向量机(support vector machine,SVM)、人工神

神经网络 (artificial neural network, ANN)、马尔科夫随机场 (markov random field, MRF)、模糊逻辑和遗传算法等方法。

(4) 根据极化信息的利用方式,分为利用散射矩阵和散射矢量、极化干涉相干矩阵、极化特征参数和协方差(相干)矩阵等方法。

由于第一种分类方式是遥感影像分类中最常用的分类方式,因此本书仅从非监督分类和监督分类两方面对极化 SAR 影像分类现状及趋势展开论述。

在非监督分类方面, Van Zyl(1989)把极化 SAR 数据分为体散射、奇次散射、“不可分类”和偶次散射四大类散射机制,对后续非监督分类算法的提出产生了深远的影响。为了解释极化 SAR 数据的物理散射机制, Cloude 等(1997a)和 Pottier 等(1995)对极化 SAR 数据进行特征分解,提取出熵 H 和 α 角,并首次将其用于极化 SAR 数据的分类,此方法有效地利用了极化散射信息,但是阈值的选取不具有自适应能力。为了解决阈值选取的自适应问题, Lee 等(1999a, 1994a)提出将 Wishart 分类器和 H - α 分解结合进行迭代分类。为了得到更精确的分类结果, Pottier 等(1999, 1997)在 H/α -Wishart 分类的基础上进一步引入各向异性度(反熵) A ,使得在同一 H - α 区域的不同地物类别得以区分。 H 、 α 和 A 都是从极化散射机理的角度获得的,这些参数通常比较粗糙,纹理信息丢失严重,为了充分利用极化 SAR 影像的纹理信息, Cao 等(2007a, 2007b)、曹芳等(2008)和杨杰等(2011)提出分别利用极化总功率交换端口分析器 (switched port analyzer, SPAN) 和极化白化滤波 (polarmetric whitening filter, PWF) 结果来改进 $H/A/\alpha$ -Wishart 分类方法。Wishart 迭代分类器虽然具有自适应能力,但是在迭代的过程中忽略了像素的极化散射特性,因此 Lee 等(2004)结合 Freeman 分解和基于 Wishart 分布的最大似然 (maximum likelihood, ML) 分类器提出了一种能保持极化散射特性的分类方法。之后,杨杰等(2012a, 2012b)和郎丰铠等(2012)又在此方法基础上分别加入了规范化圆极化相关系数、最优相干系数、Freeman 熵和各向异性度等参数,增强了该方法对建筑与植被、水体与裸土等易混分区域的区分能力。最近, Cheng 等(2014)提出了一种基于相干矩阵的散射机制分类算法,相比于 H/α 方法在计算效率和精度上均有提高。此外, Wang 等(2013)提出使用 Freeman 散射能量熵和同极化比来进行极化 SAR 非监督聚类; Liu 等(2013)提出了一种基于超级像素的、聚类数可自适应的聚类算法,也非常具有代表性。

在监督分类方面,目前最著名的是 Lee 等(1994a)提出的基于复 Wishart 分布的多视 ML 分类器。之后的许多极化 SAR 分类算法都是在该分类算法基础上的扩展或改进(郎丰铠等, 2012; 杨杰等, 2012a, 2012b, 2011; 曹芳等, 2008;

Cao et al., 2007a, 2007b; Lee et al., 2004, 1999a; Pottier et al., 1999, 1997)。匀质区域极化 SAR 数据可以用复 Wishart 分布描述, 非匀质区域如城区、森林等极化 SAR 数据要用更精确的模型如 K 分布 (Beaulieu et al., 2004; Lee et al., 1994b; Novak et al., 1989), 及服从广义逆高斯分布时导出的 G^0 分布 (Frery et al., 2006; Freitas et al., 2005)。近几年, Vasile 等 (2010, 2008) 提出用球不变随机矢量 (spherically invariant random vector, SIRV) 模型来描述高分辨率、异质区域的极化 SAR 数据分布, 并基于 SIRV 模型推导出新的 ML 分类器, 实验证明该分类器在植被、建筑区域分类效果优于基于 Wishart 分布的 ML 分类器。除以上基于概率分布的分类方法, 基于 ANN、SVM 和 RF 等分类方法由于不需考虑统计分布模型, 直接通过训练样本就可建立通用的分类方案, 并且能保持较好的分类效果, 获得许多研究人员和生产者的青睐 (Maghsoudi et al., 2013; Shi et al., 2013; Tu et al., 2012; Shimoni et al., 2009; Sambodo et al., 2001; Chen et al., 1996; Pottier et al., 1991)。

随着极化 SAR 系统的飞速发展, 人们可利用的极化 SAR 数据越来越丰富, 极化 SAR 影像分类算法研究正朝着多波段、多极化、多时相、多尺度甚至结合干涉信息的多维数据特征融合的方向发展, 并且越来越多地使用面向对象的分类方法, 以充分利用高分辨率多维数据所包含的丰富地物信息进行高精度地物分类 (Jin et al., 2014; Maghsoudi et al., 2013; Niu et al., 2013; Shi et al., 2013; Tu et al., 2012; Shimoni et al., 2009)。然而, 由于极化 SAR 数据中可用的特征参数较多, 如果不加筛选用来分类, 可能会遇到“维数灾难”问题。对此, 常用的解决方法有两类, 一种是特征选择, 如 Maghsoudi 等 (2013) 提出一种基于支持向量的特征选择器, 对提取的 58 个特征进行选择, 然后用 SVM 进行分类; 另一种是特征变换或特征融合, 如 Shimoni 等 (2009) 从 L 和 P 波段极化以及极化干涉 SAR 数据中提取了 76 个特征参数, 然后尝试利用逻辑回归和 ANN 算法对特征进行融合, 最后利用 SVM 进行分类。另外, 基于流形学习的降维方法近几年也被引入极化 SAR 分类。Tu 等 (2012) 首先提取了 14 组共 42 个特征参数, 然后用拉普拉斯特征图算法对特征参数进行降维, 最后利用 K -最近邻 (K -nearest neighbor, KNN) 或 SVM 对降维后的 3 个主分量进行监督分类。之后, Shi 等 (2013) 又提出采用监督图形嵌入算法对高维特征进行降维。为了明确各特征参数在土地覆盖分类中的贡献量, Jin 等 (2014) 利用 RF 算法对从多时相极化 SAR 数据提取的包括强度、极化、干涉、纹理四组共 132 个特征量进行分类, 发现强度信息对于分类是必不可少的要素, 而其他信息与强度组合可以提高分类精度。

面向对象的光学遥感影像分类方法已被广泛研究, 但是专门针对极化 SAR

影像的相关算法研究较少,更多的是利用已有方法进行分类方面的应用。在分类器方面,PolSAR 影像分类中最流行最基本的分类器就是 Lee 等人提出的 Wishart 最大似然监督分类器(Lee et al.,1999a,1994a)。此外,机器学习算法如决策树/随机森林、支持向量机、深度学习等也是较流行的分类方法(Maghsoudi et al.,2013; Qi et al.,2012; Huang et al.,2011; Lardeux et al.,2009)。深度学习算法已在许多不同的领域中显示出良好性能,深度模型通常通过堆叠相似的模块构建,如受限玻尔兹曼机(restricted Boltzmann machines, RBM),尤其适合于利用大数据来鉴别复杂目标。

1.3 极化 SAR 影像分割研究动态

通常遥感影像处理的基本单元是像素,因此处理数据量大、对噪声敏感。面向对象的遥感影像分析方法通过将影像分割为一个个对象,使处理单元大大减少,并可抑制同质区域内部噪声的影响,充分利用对象形状、纹理等信息,从而提高影像解译的速度和精度,现已成为一个新的遥感影像处理模式(Blaschke et al.,2014; Blaschke,2010)。

影像分割是面向对象分类研究中必不可少的一部分,极化 SAR 数据分割精度与分类精度呈严格的正相关性(赵磊,2014;杨新,2008)。面向对象的分类方法在光学遥感领域应用已较为成熟,一些遥感应用软件如易康(eCognition)、ENVI、ERDAS 等均提供影像分割及面向对象的分类等功能。但是在极化 SAR 领域,相关研究成果较少,主要的极化 SAR 处理软件如 PolSARpro、NEST、ENVI SARscape 等都没有极化 SAR 影像分割及面向对象的极化 SAR 分类功能。

按照所使用的核心技术,现有的极化 SAR 图像分割方法主要有以下四类(张杰,2012)。

1. 基于阈值的分割方法

该类方法的基本思想是使用一个或多个阈值将图像的灰度级分割为几个部分,将所有灰度值处于指定阈值间的像素视为隶属于该类特定的地物(高娜,2014;李俊英,2011)。阈值分割的关键环节是阈值的确定,如何搜索出最优阈值也是该方法研究的难点和热点。常用的阈值处理方法有:双峰法(Papamarkos et al.,1994)、最大熵法(Kapur et al.,1985)、最大类间方差法(景晓军等,2003; Gong et al.,1998;刘健庄等,1993;Otsu,1979)和最小误差法(Kittler et al.,

1986)等。此外,邱双双(2014)结合模糊 C 均值聚类 and 阈值分割实现了 SAR 图像分割,实验结果表明该方法具有较高的可靠性。安健(2014)研究了基于 Otsu 和模糊聚类算法的极化 SAR 分割和分类,得到了较好的结果,且该算法对噪声和离群点有一定容忍度,但阈值和参数设置仍需进一步研究。

阈值分割算法简单便捷、运算速度快,但是该算法只考虑了像素本身的灰度值,而没有考虑其空间特征,所以对噪声很敏感,通常需要和其他方法结合起来才能运用于极化 SAR 图像的分割。故此方法只适用于反差较大的目标和背景的分离,而不适用于包含复杂地物信息的极化 SAR 图像分割。

2. 基于区域生长的分割方法

该类方法的基本思想是将具有相似性质的像素集合起来构成区域。该类方法主要包括分水岭算法(Watershed)(朱腾等,2015;巫兆聪等,2012;Yu et al., 2000)、简单线性迭代聚类(simple linear iterative cluttering, SLIC)(Qin et al., 2015;Salembier et al., 2014;Achanta et al., 2012, 2010)、基于语义的迭代区域生长(iterative region growing with semantics, IRGS)(Yu et al., 2012, 2008;Qin et al., 2010)、均值漂移(mean shift, MS)(Zhang et al., 2013;Beaulieu et al., 2010;Wang et al., 2010;Comaniciu et al., 2002;Cheng, 1995;Fukunaga et al., 1975)和统计区域合并(statistical region merging, SRM)(郎丰铠, 2014;Lang et al., 2014b, 2012;林卉等, 2012;Li et al., 2008;Richard et al., 2004)等。

区域生长算法计算简单,对于较均匀的连通目标有较好的分割效果。因此若极化 SAR 影像中有大量匀质区域,该类方法可取得较好的分割效果。但是该类算法同样对噪声敏感,一般都需要进行分割后处理,将噪声区域合并到附近区域。

3. 基于边缘的分割方法

边缘是指图像中信号发生奇异变化的地方,反映图像局部特征的不连续性,是连续像素点的集合。奇异信号沿垂直于边缘走向的灰度变化剧烈,通常边缘可分为阶跃状和屋顶状两种类型(徐建华, 1992)。梯度算子可用于检测边缘,传统的梯度算子主要有 Prewitt 算子、Canny 算子(Canny, 1986, 1983)、Laplacian 算子、Robert 算子和 Sobel 算子等,但这些算子易受噪声干扰而不适用于 SAR 图像分割,并且边缘定位不精确,大多数情况下需要结合滤波器使用。为减少噪声干扰,基于小波变换的边缘检测越来越受到人们的重视,常用的小波算子有 Mallat 算子(Mallat et al., 1992)和 Harr 算子等。此外,Frery 等(2012)结合 B

样条可变形轮廓和局部参数评估进行区域边缘检测,实验表明该方法对细节保持较好并降低了运算代价,但鲁棒性还有待提高;安成锦等(2011)引入 Radon 变换对指数加权均值比(ratio oscillators exponent weight average,ROEWA)算子进行了改进,分割结果具有较好的边缘方向检测性,能更好地适用于 SAR 图像分割。

4. 基于特定理论的分割方法

包括水平集(level-set)方法、基于马尔科夫随机场(Markov random field, MRF)的分割方法、基于图论的分割方法(spectral clustering)等。

基于图论的分割方法因充分利用了图像的整体和局部特性,具有较强的灵活性、较好的分割特性,因而成为图像分割领域新的研究热点。Xu 等(2007)发明了主动轮廓方法来做图像分割。赵磊等(2015)结合均值漂移和谱图分割处理 Radarsat-2 全极化数据,证明了其方法的有效性和稳健性。Ersahin 等(2010, 2007)采用快速近似解降低了谱图分割的运算复杂度,并进一步提出了一种面向对象的极化 SAR 图像分割分类方法,该方法可融合轮廓和空间信息,但最优阈值的选择有待深入研究。

MRF 方法(Zhang et al., 2013; Yu et al., 2012)根据最优准则确定目标函数。该方法目标分割准确,边缘定位清晰,有很大的发展前景。Dong 等(2001)采用基于高斯模型的 MRF(Gauss MRF, GMRF)分别对美国 NASA/JPL C 波段 AIRSAR 单极化和多极化图像进行分割分类,实验结果表明此方法对单极化图像效果一般,而对多极化图像效果较好。Wu 等(2008)提出了一种基于区域的 WMRF(Wishart MRF)分割算法,先利用条件迭代模型(iteration condition model, ICM)对图像进行过分割,再作 Wishart ML 分类,实验表明该算法能有效抑制相干斑干扰,获得较好的分割结果。

水平集是由 Osher 等(1988)提出的一种基于曲线演化理论(Kimia et al., 1995)和零水平集思想的几何活动轮廓模型,能够追踪拓扑结构的变化,解决参数活动轮廓模型难以解决的问题。其主要思想是将 n 维移动变形曲线隐式表达为 $n+1$ 维的水平集函数,由封闭超曲面的演化方程得到函数的演化方程,求得移动变形曲线的演化结果。传统的水平集方法一般在偏微分方程中采用拉格朗日公式(Malladi et al., 1995; Caselles et al., 1993),但需要对水平集函数作周期性的重新初始化,从而增加了运算代价,降低了运算效率,且具有边缘效应。变分水平集方法(Zou et al., 2015; 邹鹏飞 等, 2014; Yin et al., 2014; Ismail et al., 2006; Li et al., 2005; Vemuri et al., 2003; Chan et al., 2001)则能够更便捷高效

地整合图像的附加信息。Ismail 等(2006)在曲线演化中嵌入分区约束,结合最大似然渐进提出了一种高效的多相位水平集方法,在分割效率和鲁棒性方面取得了较好的效果。Yin 等(2014)针对多波段极化 SAR 图像分割提出了一种改进的自适应多相位水平集方法,其结果既包含了极化统计信息又包含了图像的边缘信息,而且能够较好地辨别低反差区域的目标,同时具有高效性。邹鹏飞等(2014)用 KummerU 分布代替传统的 Wishart 分布,以使分割结果更准确,同时在水平集方法中加入了距离限制项来避免水平集函数重新初始化,减少了迭代次数,提高了分割效率。

综上,由于现有的典型极化 SAR 影像分割算法较少,并且在对点、线等细节信息保持,以及分割效率和抗噪性等方面都不甚理想,因此本书需要首先研究极化 SAR 影像分割算法,主要以近几年较流行的超像素分割为主。超像素分割是 2003 年在计算机视觉领域提出的一个概念(Ren et al., 2003),超像素即由一系列位置相邻且颜色、亮度、纹理等特征相似的像素点组成的小区域。它保留了进一步进行图像分割的关键信息包括边界要素。在分类方面,现有的分类方法各有其优缺点,在分类精度和适用性上仍达不到实用要求,而多分类器集成算法通过将分类精度不高的弱分类器进行集成,可大大提高分类精度和适用性。此外,由于基于像素的分类方法处理量大,并且对相干斑噪声敏感,即使进行滤波处理,分类精度仍受到一定限制,因此本书将利用面向对象的思想,结合超像素分割和监督分类器,通过研究新的超像素分割算法和多分类器集成算法实现极化 SAR 影像的精确、快速分类。

1.4 本书内容和组织结构

1.4.1 主要内容

本书研究的主要内容为极化 SAR 影像超像素分割及面向对象分类。在超像素分割方面,本书将针对光学图像的简单线性迭代聚类算法引入极化影像处理领域,提出 PolSLIC 超像素分割算法;在面向对象分类方面,本书将受限玻尔兹曼机(RBM)和自适应提升(adaptive boosting, AdaBoost)框架结合,提出 RBM-AdaBoost 分类算法

1. PolSAR 影像分割研究

将计算机视觉领域较热门的 SLIC 算法引入极化 SAR 领域,在超像素之间

的距离度量、聚类中心初始化和对细碎分割结果的后处理等方面开展创新性研究,提出一种新的极化 SAR 超像素分割算法 PolSLIC。并选取美国国家航空航天局喷气推进实验室获取的 AirSAR L 波段全极化 SAR 数据和德国宇航中心获取的 ESAR L 波段全极化 SAR 数据作为实验数据,采用本书提出的 PolSLIC 超像素分割算法和其他经典算法如 Ncut、GBMS 及原始 SLIC 算法进行分割试验,在图像分割处理效率和分割成果准确性等方面进行评价。

2. PolSAR 影像分类研究

将受限玻尔兹曼机(RBM)和自适应提升(AdaBoost)框架结合,一方面利用面向对象的思想克服极化 SAR 影像中相干斑噪声的影响并加快处理速度,另一方面利用基于深度学习模块的多分类器集成框架克服极化 SAR 影像中地物目标散射机理复杂、单一分类器难以实现高精度分类的问题,建立 RBM-AdaBoost 算法,避免对大体量数据的需求,更适合于面向对象的处理方法。通过美国国家航空航天局喷气推进实验室获取的 AirSAR L 波段全极化 SAR 数据进行实验,在分类精度方面与堆叠 RBM 模型和其他常用的极化 SAR 分类方法如最小距离分类器(minimum distance, MD)、NN 分类器、Wishart 分类器、RF 分类器和 RBM-Bagging 分类器等进行评价。

1.4.2 组织结构

第1章是绪论。介绍极化 SAR 影像超像素分割和面向对象分类研究的背景和意义,分析极化 SAR 影像超像素分割和面向对象分类研究的国内外研究进展及存在的问题,最后提出极化 SAR 影像超像素分割和面向对象分类研究的主要内容和结构框架。

第2章是极化 SAR 基本理论。涵盖极化电磁波的极化椭圆、Jones 矢量和 Stokes 矢量,极化 SAR 数据的散射矩阵、协方差阵、相干阵、Mueller 和 Stokes 阵,极化合成理论,单极化低分辨率 SAR 数据的 Rayleigh Distribution 特性和高分辨率 SAR 数据的 K 分布特性、全极化 SAR 数据的高斯和非高斯模型,极化目标基本散射机制、Pauli、Cloude-Pottier 和 Freeman-Durden 分解。

第3章是极化 SAR 影像超像素分割。是本书的主要研究内容之一。首先介绍两种现有典型的超像素分割算法,之后将 SLIC 算法引入极化 SAR 领域,提出可直接用于极化 SAR 影像的 PolSLIC 超像素分割算法,最后通过实验对比分析几种分割方法的分割结果,验证本书提出的分割算法的有效性。