

智能SAR影像变化检测

焦李成 侯彪 尚荣华 杨淑媛 著
王爽 万红林 辛芳芳 刘赶超



科学出版社

智能 SAR 影像变化检测

焦李成 侯 彪 尚荣华 杨淑媛 著
王 爽 万红林 辛芳芳 刘赶超



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书对近年来智能 SAR 影像变化检测领域常见的理论及技术进行了较为全面的阐述和总结,并结合作者多年的研究成果,对相关理论及技术在应用领域的实践情况进行了展示和报告。全书从智能计算的角度,对 SAR 影像变化检测提出了新颖的解决思路和方法。基于作者的工作,结合国内外的动态,集合了当前智能 SAR 影像变化检测的很多相关内容。

本书可为计算机科学、信息科学、人工智能、自动化技术领域及其交叉领域中从事量子计算、进化算法、机器学习及相关应用研究的技术人员提供参考,也可作为相关专业研究生和高年级本科生教材。

图书在版编目(CIP)数据

智能 SAR 影像变化检测/焦李成等著. —北京:科学出版社, 2017.3
ISBN 978-7-03-052207-8

I. ①智… II. ①焦… III. ①卫星图象—检测—研究 IV. ①TP75

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 051303 号

责任编辑:宋无汗 / 责任校对:赵桂芬
责任印制:张倩 / 封面设计:陈敬

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>

北京通州皇家印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 3 月第一版 开本:720×1000 1/16

2017 年 3 月第一次印刷 印张:17 1/2

字数:353 000

定价:118.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

在 SAR 图像处理领域中,变化检测是一个非常重要的课题,在救灾、农业检测、城市规划等方面都有广泛的应用。然而,由于散射回波的干涉导致 SAR 图像不可避免地会存在斑点噪声,这使得变化检测变得很困难。对于无监督的 SAR 变化检测而言,一般包括三个基本步骤:①降斑;②生成差异图;③分类。过去的数十年间,这些方面有许多很好的工作。在 SAR 图像降斑的研究中,提出了许多经典的降斑方法,如被广泛应用的 Lee 滤波、Kuan 滤波、Gamma MAP 滤波等。近年来,受非局部思想的启发,提出了许多基于图像非局部冗余性的降斑方法,如针对单极化 SAR 图像的 PPB 滤波器、SAR-BNL 滤波器、SAR-BM3D 滤波器及基于统计距离的非局部均值滤波器等。有一些工作主要研究了差异图的生成算法,其中被广泛应用的差异图生成算法包括比值和对数比算子。还有一些研究了基于多时相 SAR 图像的统计分布构建差异图的方法等。值得指出的是,在变化检测过程中,虚警和漏警是两个相互对立的概念。因此,这种基于统计假设检验的恒虚警算法可以通过调节虚警概率满足不同的实际需求。这一性质,在实际应用中对决策者很重要。例如,在突发灾难的早期,有限的救援力量必须要合理分配至虚警概率很小的区域,来避免救援力量的空耗。而在救援力量充足的情况下,又必须保证很低的漏警概率,以确保所有的疑似受灾区域都得到及时的救助。在变化检测中,阈值的选取需要平衡虚警和漏警。基于恒虚警算法中,阈值是关于虚警概率的函数,通过改变的虚警概率从而实现阈值的调节。然而,现有的变化检测算法还存在一些缺陷。首先,现有的算法不会考虑同质区域和纹理区域的残留噪声差异。其次,由于降斑后的统计分布很难估计,因此现有的基于恒虚警的算法中很少有降斑的步骤,导致这些算法对于强噪声干扰下的 SAR 图像效果很不好。

从 1996 年开始,在国家“973”计划项目(2013CB329402、2006CB705707),国家“863”计划项目(863-306-ZT06-1、863-317-03-99、2002AA135080、2006AA01Z107、2008AA01Z125 和 2009AA12Z210),国家自然科学基金创新研究群体科学基金项目(61621005),国家自然科学基金重点项目(60133010、60703107、60703108、60872548 和 60803098)及面上项目(61371201、61271302、61272279、61473215、61373111、61303032、61271301、61203303、61522311、61573267、61473215、61571342、61572383、61501353、61502369、61271302、61272282、61202176、61573267、61473215、61573015、60073053、60372045 和 60575037),国家部委科技项目资助项目(XADZ2008159 和 51307040103),高等学校学科创新引智计划(“111”计划)(B07048),国家自然科学基金重大研究计

划项目 (91438201 和 91438103), 以及教育部“长江学者和创新团队发展计划”项目 (IRT_15R53 和 IRT0645), 陕西省自然科学基金项目 (2007F32 和 2009JQ8015), 国家教育部高等学校博士点基金项目 (20070701022 和 200807010003), 中国博士后科学基金特别资助项目 (200801426), 中国博士后科学基金资助项目 (20080431228 和 20090451369) 及教育部重点科研项目 (02073) 的资助下, 本书对智能 SAR 影像变化检测进行了较为系统的研究和探讨。

鉴于智能 SAR 影像变化检测展现的广阔前景, 以及对社会各个方面的重要影响。本书作者在该领域进行了深入而有成效的研究工作。在十多年的探索研究中, 取得了一些成果, 并在广泛的应用领域进行了尝试。从智能计算的角度, 对 SAR 影像变化检测提出了新颖的解决思路和方法。基于前面的工作, 结合国内外的动态, 本书集合了当前智能 SAR 影像变化检测的很多相关内容, 不仅包括智能 SAR 影像变化检测的基础理论介绍, 更加入了许多最新技术在不同领域的应用工作解析。

本书是西安电子科技大学智能感知与图像理解教育部重点实验室、智能感知与计算教育部国际联合实验室、国家“111”计划创新引智基地、国家“2011”信息感知协同创新中心、大数据智能感知与计算陕西省 2011 协同创新中心和智能信息处理研究所近十年来集体智慧的结晶。特别感谢保铮院士多年来的悉心培养和指导; 感谢中国科技大学陈国良院士、IEEE 计算智能学会副主席——英国伯明翰大学姚新教授、英国埃塞克斯大学张青富教授、英国诺丁汉大学屈嵘教授的指导和帮助; 感谢国家自然科学基金委信息科学部的大力支持; 感谢西安电子科技大学田捷教授、高新波教授、石光明教授、梁继民教授的帮助; 感谢孟洋、袁一璟、张玮桐、王文兵、刘驰旸、都炳琪、文爱玲、刘欢、常姜维、刘永坤、兰雨阳等智能感知与图像理解教育部重点实验室全体成员所付出的辛勤劳动。

感谢作者家人的大力支持和理解。

由于作者水平有限, 书中不妥之处在所难免, 恳请读者批评指正。

作 者

2016 年 12 月 9 日

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景及意义	1
1.2 研究对象	1
1.3 变化检测方法及存在问题	2
1.3.1 变化检测预处理	2
1.3.2 变化检测技术分类	3
1.3.3 精度评估	6
1.3.4 现有主要检测方法的局限性	7
1.4 Fisher 判别分析	9
参考文献	10
第 2 章 基于小波域隐马尔可夫树模型的遥感图像变化检测	16
2.1 引言	16
2.2 二维离散小波变换原理	17
2.3 隐马尔可夫模型	19
2.4 基于小波域 HMT 模型的遥感图像变化检测算法	20
2.4.1 小波域差异影像的构成	20
2.4.2 基于双高斯混合模型的分割	20
2.4.3 HMT 模型融合	22
2.5 实验结果分析与有效性验证	22
2.5.1 数据描述	23
2.5.2 实验结果	23
2.6 本章小结	28
参考文献	28
第 3 章 基于局部均值动态 Fisher 分类器的遥感图像变化检测	31
3.1 引言	31
3.2 均值漂移算法	32
3.3 Fisher 判别分析原理	34
3.4 基于改进 Fisher 分类器的遥感图像变化检测	35
3.4.1 基于边缘检测的样本提取	35

3.4.2	基于局部均值 Fisher 分类器的判别	37
3.4.3	算法流程	39
3.5	对真实遥感图像的实验结果及分析	40
3.5.1	数据描述	40
3.5.2	实验结果	41
3.6	本章小结	45
	参考文献	45
	附录	46
第 4 章	基于非局部均值加权的动态模糊 Fisher 分类器的遥感图像变化检测	49
4.1	引言	49
4.2	模糊 Fisher 判别分析	49
4.3	基于非局部均值加权的动态模糊 Fisher 分类器的变化检测	51
4.3.1	预分割变化检测图	51
4.3.2	非局部均值加权	52
4.3.3	动态 FFDA 判别	53
4.3.4	算法流程	54
4.4	对真实遥感图像的实验结果及分析	55
4.4.1	数据描述	55
4.4.2	实验结果	56
4.5	本章小结	59
	参考文献	60
	附录	61
第 5 章	基于小波域 Fisher 分类器的 SAR 图像变化检测	64
5.1	引言	64
5.2	小波域 Fisher 分类器变化检测过程	65
5.2.1	多层预分割变化检测图	65
5.2.2	小波域 Fisher 分类器训练	67
5.2.3	基于空间邻域关系和上下文关系的融合	69
5.3	参数设置及实验对比	70
5.3.1	实验设置	70
5.3.2	Bern 实验数据	71
5.3.3	Ottawa 实验数据	75
5.4	本章小结	77
	参考文献	78
	附录	79

第 6 章 基于神经网络和非局部均值加权的 SAR 图像变化检测	82
6.1 引言	82
6.2 BP 神经网络原理	83
6.3 联合特征向量构成	84
6.4 基于神经网络的 SAR 图像变化检测	85
6.4.1 非局部均值加权	85
6.4.2 算法实现	86
6.5 实验结果分析及有效性验证	88
6.5.1 Bern 试验数据	88
6.5.2 Ottawa 实验数据	91
6.6 本章小结	94
参考文献	94
第 7 章 基于块相似性度量模型的 SAR 图像变化检测	96
7.1 引言	96
7.2 变化检测框架及研究动机	97
7.2.1 从 SAR 图像比值分布到变化检测	97
7.2.2 待解决的问题及研究动机	99
7.3 基于相似性度量的 CFAR 变化检测	100
7.3.1 降斑: SAR-DNS 滤波器	100
7.3.2 估计等效视数	102
7.3.3 阈值与虚警概率	104
7.4 实验结果分析	104
7.4.1 评价指标	104
7.4.2 在合成 SAR 图像上的实验结果分析	104
7.4.3 在真实 SAR 图像上的实验结果分析	106
7.5 本章小结	109
参考文献	109
附录	111
第 8 章 基于双噪声相似性度量和极化机理的 PolSAR 变化检测	113
8.1 引言	113
8.2 PolSAR-DNS 框架	114
8.2.1 PolSAR 数据的统计分布模型	114
8.2.2 从 DNS 到 PolSAR-DNS	115
8.3 基于 PolSAR-DNS 的极化 SAR 降斑	116
8.3.1 PolSAR-DNS 非局部均值滤波器	116

8.3.2	基于 PolSAR-DNS 的极化 SAR 降斑实验分析	117
8.4	基于 PolSAR-DNS 的极化 SAR 变化检测	120
8.4.1	PolSAR-DNS 变化检测算法	120
8.4.2	基于 PolSAR-DNS 的极化 SAR 变化检测实验分析	121
8.5	本章小结	127
	参考文献	127
第 9 章	基于多层判别式 Fisher 自编码器的 SAR 图像变化检测	129
9.1	引言	129
9.2	SAR 斑点噪声的统计模型与研究动机	130
9.3	基于栈式自编码器的 SAR 变化检测	132
9.3.1	栈式自编码器	132
9.3.2	基于栈式自编码器的 SAR 变化检测算法	133
9.4	实验与结果分析	137
9.4.1	参数设置	137
9.4.2	单极化 SAR 图像的实验分析	138
9.4.3	PolSAR 数据的实验分析	141
9.5	本章小结	144
	参考文献	144
	附录	146
第 10 章	基于交互式分割技术和决策级融合的 SAR 图像变化检测	148
10.1	引言	148
10.2	交互式分割技术	148
10.3	基于交互式分割技术和决策级融合的变化检测算法	149
10.3.1	初始种子点的选取	150
10.3.2	获取不同尺度的差异图表示	150
10.3.3	设置特征	151
10.3.4	交互式分割技术分析差异图	151
10.3.5	决策级融合生成变化检测结果	152
10.4	实验设计	152
10.5	变化检测结果比较	153
10.5.1	参数分析	153
10.5.2	变化检测结果比较及分析	153
10.6	其他两组实验数据的变化检测结果	158
10.7	本章小结	160
	参考文献	160

第 11 章 基于值域受限阈值和马尔可夫融合的 SAR 图像变化检测	161
11.1 引言	161
11.2 基于值域受限和马尔可夫融合的 SAR 图像变化检测算法	162
11.2.1 确定较难判断类别像素	162
11.2.2 值域受限地阈值分割差异图	164
11.2.3 基于 MRF 模型融合不同的阈值分割结果	165
11.3 变化检测结果及分析	166
11.3.1 实验结果	166
11.3.2 结果比较及分析	170
11.3.3 与前章节方法比较	170
11.4 其他两组实验数据的变化检测结果	170
11.5 本章小结	173
参考文献	173
第 12 章 在感兴趣的区域层面上进行的 SAR 图像变化检测	174
12.1 引言	174
12.2 传统引入空间关系的策略	175
12.2.1 基于马尔可夫随机场模型	175
12.2.2 基于马尔可夫随机场模型的融合策略	176
12.3 基于感兴趣区域引入空间关系	177
12.4 基于平稳小波变换和感兴趣区域的变化检测	179
12.4.1 获取抽取感兴趣区域标签 L_S	180
12.4.2 实验设计	180
12.4.3 参数分析	181
12.4.4 变化检测结果比较及分析	183
12.4.5 时间复杂度比较	187
12.4.6 其他两组实验数据的变化检测结果	188
12.4.7 本节小结	190
12.5 基于 SGKC 算法和感兴趣区域的 SAR 图像变化检测	190
12.5.1 获取抽取感兴趣区域的标签	190
12.5.2 验证 SGKC 算法分类效果	191
12.5.3 参数分析	193
12.5.4 变化检测结果比较及分析	195
12.5.5 SWT+ROI 与 SGKC+ROI 法的比较	199
12.5.6 其他两组真实 SAR 实验数据的变化检测结果	199
12.5.7 本节小结	202
12.6 本章小结	203
参考文献	203

第 13 章 基于模糊贴近度和过渡区域提取的 SAR 图像变化检测	205
13.1 引言	205
13.2 经典的差异图构造方法	205
13.2.1 比值法差异图	206
13.2.2 对数比值法差异图	206
13.2.3 区域均值法差异图	206
13.2.4 基于相似度测量的差异图构造	206
13.3 基于灰度差异抽取过渡区域	208
13.4 基于模糊贴近度和过渡区域提取的 SAR 图像变化检测方法	208
13.4.1 构造模糊贴近度差异图	209
13.4.2 改进的过渡区域抽取方法	209
13.4.3 借助感兴趣区域引入空间关系	212
13.5 变化检测结果比较与分析	213
13.5.1 实验设计	213
13.5.2 基于改进的过渡区域阈值处理不同差异图的结果比较	213
13.5.3 变化检测结果比较及分析	215
13.5.4 三种基于感兴趣区域 (ROI) 变化检测方法的性能比较	220
13.6 其他两组实验数据的变化检测结果	221
13.7 本章小结	224
参考文献	224
第 14 章 基于融合的混合型 SAR 图像变化检测	226
14.1 引言	226
14.2 基于融合的混合型 SAR 图像检测方法	227
14.2.1 在区域层面上分析差异图	228
14.2.2 在像素层面上分析差异图	230
14.2.3 基于区域增长融合策略生成最终的变化检测结果	233
14.3 变化检测结果比较及分析	234
14.4 其他两组实验数据的变化检测结果	239
14.5 本章小结	241
参考文献	241
第 15 章 基于免疫克隆优化的小波域遥感图像变化检测	243
15.1 引言	243
15.2 免疫克隆优化用于小波域遥感图像变化检测算法	244
15.2.1 小波域多层差异影像的构成	244
15.2.2 基于瑞利高斯模型的多层差异图像初始分割	244

15.2.3	基于免疫克隆算法的多层偏移插值调整	245
15.2.4	多层变化检测结果的融合	247
15.3	实验结果与分析	247
15.4	本章小结	254
	参考文献	254
第 16 章	基于 BBO 优化的遥感图像变化检测	255
16.1	引言	255
16.2	BBO 算法的基本原理	255
16.2.1	算法的初始化	255
16.2.2	算法的迁移操作	256
16.2.3	算法的变异操作	256
16.3	基于 BBO 算法的遥感图像变化检测	257
16.3.1	图像的预分割操作	257
16.3.2	基于 BBO 算法的遥感图像变化检测方法	257
16.4	实验结果与分析	258
16.5	本章小结	265
	参考文献	265

第 1 章 绪 论

1.1 研究背景及意义

自然界变化和人类活动对地球资源和环境都产生了深远的影响。人口的快速增长导致城市扩张及耕地面积减少,森林被开采成农田,地震后地形的变化及房屋倒塌状况,洪水泛滥冲毁的桥梁,以及石油泄漏造成的污染等,都需要进行有效的监测来判断其带来的影响。卫星的发展及其对地面观测技术的成熟,无疑成为地表监测的一种有效手段。近年来,随着航天航空技术、传感器技术、计算机技术等相关技术的发展,现代卫星已经可以获取到多分辨率、多角度、多通道的卫星图像。如何综合利用这些信息已经成为众多国家关注的焦点。

变化检测^[1-3]是识别目标状态差异或分析不同时间得到的同一地理位置的信息来识别地物变化的技术。经过多年的发展,变化检测技术无论是在理论方面还是在技术方面都取得了可喜的成就,其检测方法日益成熟,并引入了很多新兴技术。变化检测技术已经被广泛用于土地利用/覆盖(land-use and land-cover, LULC)研究^[4-8]、植被变化^[9,10]、视频监控^[11,12]、医学诊断治疗^[13-16]等方面。

1.2 研究对象

早在遥感技术发展初期,利用遥感影像进行变化检测研究就已经引起了人们的兴趣。遥感是远距离获取目标信息的一种探测技术,它利用地面物体对电磁波的反射、吸收和辐射等特性,间接接收地表信息。常用的遥感卫星有美国的陆地卫星 Landsat、法国的 SPOT 系统、日本的 JERS-1、加拿大的 Radarsat、俄罗斯的 Resurs-O,以及中国和巴西合作的 CBERS 等。近年来,利用卫星对地观测技术获得了巨大的发展,多分辨率(光谱分辨率、辐射分辨率、时间分辨率等)、多时相、高光谱和超光谱等多种遥感数据相继出现,图像的几何分辨率从几千米到几十厘米,光谱分辨率从几百纳米到十几个纳米,采集数据的周期从几十天到一天多次,形成了全天候、多角度、高分辨率、高光谱的卫星遥感观测系统^[17],满足了不同应用的需要。本书的研究对象是卫星图像中的光谱遥感图像和合成孔径雷达(synthetic aperture radar, SAR)图像。

光谱遥感是发展迅速并广为应用的一种技术,它在可见光遥感的基础上,把探测范围向红外和紫外两个方面扩展,从而可以获取地物不同波段的信息。光谱

遥感图像因为受大气影响,大气的吸收和反射都会造成图像目标对比度的降低,所以对成像条件有一定的要求。光谱遥感图像变化检测技术被广泛应用于各个领域,如城市变化^[18,19]、森林覆盖^[20,21]、海岸检测^[22]、灾害监测^[23,24]、植被检测^[25]等研究。随着遥感技术的发展,近年来出现了高分辨率遥感影像,利用传统的光谱遥感变化检测方法对其进行变化检测研究不能取得很好的结果,因此针对高分辨率遥感影像提出了一些新的算法^[26-28]。

SAR 是遥感领域的一项突破性成就,它改变了雷达的基本功能,使雷达成为获取信息的一个重要手段。SAR 具有极强的穿透能力,能在恶劣环境下以很高的分辨率提供地面信息。由于其全天候、全天时、覆盖广等优点,被广泛应用于军事侦查、环境监控、城市变化及农作物生长等领域。SAR 图像灰度值表示的是目标物散射功率强弱,散射功率越弱,灰度值越低,这一特性可用来进行对地物目标的分辨。但是,SAR 图像中固有的相干斑噪声,对变化检测研究造成很大影响,降低了变化检测精度。如何避免乘性噪声的影响,提高图像检测精度,是 SAR 图像变化检测的难点。现有算法多通过预处理降低噪声。预处理可以是滤波算法,如 Lee 滤波^[29]、Frost 滤波^[30]、Kuan 滤波^[31]、Gamma Map 滤波^[32]和均值滤波^[33]等,也可以通过加入空间特征来滤除噪声,如小波信息^[34]等。SAR 图像变化检测已经被广泛用于研究土地利用和土地覆盖^[35,36]、灾害监测^[37,38]、森林覆盖^[39]和农作物监测^[40]等。

1.3 变化检测方法及存在问题

变化检测需要判断多时相图像是否发生变化,变化的位置,有时还需要确定图像变化的内容,如植被的变化情况^[9,10,41]等。一个好的变化检测算法应该能够获以下信息^[2]:①图像变化情况及变化区域大小;②变化的类型及空间分布情况;③变化轨迹;④准确的变化结果评估。变化检测过程通常由 3 步组成^[34]:①图像预处理;②合适的检测方法;③有效的检测结果评估。

1.3.1 变化检测预处理

变化检测所用的数据是同一位置不同时间获取的图像,由于拍摄条件、接收时间、光照影响、角度和传感器不同等原因,得到的图像通常不匹配,在利用变化检测技术进行变化检测研究前,需要对其进行校正,达到同一位置在两幅图像上的像素点相互重叠的要求。常用的预处理方法包括:图像的几何校正、辐射校正、大气校正,以及在处理山区问题时需要地形校正。通过预处理,降低由于波段、照射角、强度、大气状况和土壤湿度等造成的影响。这里主要介绍对检测精度影响最大的几何校正和辐射校正。

1. 几何校正

在卫星图像成像过程中, 由于受到轨道变化、传感器方位变化、地球曲率和地形起伏等影响, 得到的同一地区图像会产生几何畸变^[42]。在使用检测方法检测变化区域前, 首先需要将这些图像进行几何配准, 使其空间位置可以完全重叠。传感器相同, 波段不同的配准称为光谱配准, 不同传感器间的配准称为空间配准。校正的方式有两种: 一种是图像 T_2 时相相对 T_1 时相参考数据进行相对几何校正; 另一种是图像 T_1 和 T_2 时相参考数据都相对其他的参考坐标系统进行纠正, 纳入到同一几何基准下。几何校正的精度对变化检测结果的精度影响非常大, 精度低的几何校正会产生很大的错误检测率。

2. 辐射校正

辐射校正是在减轻成像过程中, 由于数据获取、传输系统和辐射失真等产生的误差。辐射校正可以分为绝对辐射校正和相对辐射校正两种。绝对辐射校正针对单幅图像, 可以去除大气影响, 校正后的图像灰度值能够反映真实的地物光谱反射率, 该校正方法可以通过较精确的大气校正模型来完成。相对辐射校正适用于多幅图像的情况, 将质量较好的图像作为参考图像, 对其做绝对辐射校正, 再将其他图像相对于参考图像做变换得到, 此过程也称为辐射归一化 (relative radiometric normalization)。辐射归一化主要有统计特征变换法和统计回归分析法两种方法。

1.3.2 变化检测技术分类

Lu 等根据变化检测技术所采用的数学方法将其分为 7 类, 分别是: ①代数法; ②变换法; ③分类法; ④高级模型方法; ⑤GIS 方法; ⑥可视化分析方法; ⑦其他方法。Ceilk 则根据检测过程是否需要人为干预将常用的变化检测算法大致分为: 有监督变化检测算法和无监督变化检测算法^[43]。事实上, 在部分应用中, 可以通过提取训练数据将有监督变化检测算法转换成半监督变化检测^[44]或无监督变化检测算法^[45]。这里将常用的变化检测方法按照 Ceilk 的分类进行划分。

1. 有监督变化检测算法

有监督变化检测方法要求预先知道一定的地物信息, 可以得到较好的分类精度或图像变化的类型, 主要包括可视化方法、分类后比较方法、神经网络方法、核方法、支持向量方法和基于小波的检测方法等。

(1) 可视化方法^[18]: 一种人机交互的检测方法, 通过对图像进行增强、合成等处理来突出变化区域。该方法需要人工解译处理后的图像, 工作人员根据经验和知识, 综合利用各种信息来确定变化情况, 主观因素较强, 工作量大, 工作

效率低。

(2) 分类后比较方法^[19,22]: 先对多时相图像中的每一幅图像进行分类, 分类算法可以是有监督算法, 也可以是无监督算法。通过比较图像的分类结果, 从而确定变化区域。该方法可以直接给出变化区域的地理信息, 对图像配准要求较低, 主要根据分类后图像对应区域的标识进行判定。但由于图像先进行分类, 因此分类结果对变化区域的判定有较大影响。如果分类结果出现错误, 则后续判别会产生错误累积, 从而导致最终检测结果误差较大。

(3) 神经网络方法^[46,47]、核方法^[48-50]和支持向量方法^[51-53]: 都是通过已有的样本对不同分类器进行训练, 从而得到变化检测结果。对于得到的多时相、多光谱影像和多通道图像, 可以利用核方法及支撑向量方法等将差值向量投影到高维特征空间中进行非线性划分, 从而提高检测精度。

(4) 基于小波的检测方法^[54,55]: 通过小波变换等方法提取图像的结构信息, 建立图像信息库, 将得到的光谱图像特征与信息库中已有的信息进行比对, 从而得到图像的变化类别。这一方法解决了光谱图像数据多、数据量大等问题, 可以快速地找到需要的结果。但是该方法对图像信息库要求较高, 需要信息库中知识完备。

2. 无监督变化检测算法

无监督变化检测算法通过自动分析来检测变化区域, 主要包括图像差值法、图像比值法、变化向量分析法、植被索引差值法、变换方法、图像回归法、统计测试法和背景相减法等。

(1) 图像差值法^[56,57]: 通过分析两幅图像中灰度值差值的变化情况进行变化检测研究。差值法主要用于光谱遥感图像, 是一种简单有效的方法。其主要过程是: 对经过几何校正和辐射校正的多时相图像, 首先通过差值算子对多时相图像进行像素级的比较, 得到差异影像(单幅图像, 直接相减取绝对值; 多光谱图像, 对应波段分别相减取绝对值), 再利用无监督检测算法对差异影像进行检测得到变化像素。该方法对变化较敏感, 可以直接体现图像的变化信息。但是由于乘性噪声的影响, 对 SAR 图像利用图像差值法, 会产生大量的伪变化信息, 而且图像获取时的大气情况、光照情况等都对检测结果影响较大。

(2) 图像比值法^[58-60]: 与图像差值法不同, 图像比值法在进行两幅图像的比较时, 利用的是比值算子。比值算子得到的差异影像, 值越大, 该像素发生变化的可能性越小; 反之, 该像素发生变化的可能性越大。对校正后的图像, 比值算法可以选择直接比值, 也可以选择 Log 比值。Log 比值可以将 SAR 图像中的乘性噪声转化为加性噪声, 因此 SAR 图像变化检测中的差异影像大部分是通过比值法构造的。

(3) 变化向量分析法 (change vector analysis, CVA)^[23,44,61]: 将多通道图像看成向量, 利用向量来描述图像的变化情况。变化向量主要包括向量的长度和向量的方向。对于多时相图像, 每一幅图像上的每一个点对应向量空间中的一个点。当对应波段相减, 向量空间中对应的两个点就构成了变化向量。变化向量法需要有多维变化向量, 多应用于多波段遥感影像及多通道 SAR 图像。得到的变化向量可以根据阈值判断该点是否发生变化。该方法多用于森林变化及土地利用等领域, 它可以充分利用各个波段和各个通道的信息, 提高检测精度, 但是对图像源要求较高。

(4) 植被索引差值法^[62-65]: 主要用于植被研究, 根据不同植被对不同波段反射能力不同, 通过对图像的固定波段进行不同操作 (比值操作、归一化操作、转换操作等), 得到不同的植被索引标识, 从而进行判别。在使用植被索引时, 需要对土壤背景信息等进行校正。

(5) 变换方法^[66]: 主要包括 PCA、KT、GS 变换等, 其中 PCA 方法使用最多。PCA 方法通过 KL 变换, 将原有的坐标系重新投影, 从而将原有的图像特征 (如灰度) 转化为新的特征, 利用优化后的特征进行检测。投影后的特征具有不相关性, 抑制了图像内部相关性引起的噪声, 且将原有的大量信息压缩到几个特征向量上, 使变化区域的分量得到增强, 而非变化区域的分量得到抑制, 增加了变化区域和非变化区域的可分性。KT 和 GS 变换主要对植被进行分析, 变换后会产生亮度、绿度和湿度三个分量, 通过这三个固定分量分析图像。

(6) 图像回归法^[67-69]: 把一个时相的图像看成另一时相的线性变换, 利用线性函数拟合非变化区域。如果在某一区域的预测值与实际值差别较大, 则判定该区域发生变化。该方法需要设定阈值判断该点是否发生变化, 阈值的确定是难点。

(7) 统计测试法^[70]: 通过统计多时相图像的信息, 判断该数据是否发生变化。统计方法包括多时相数据间的相关系数、半方差等。该方法只能判断图像是否发生变化, 不能检测变化的具体位置及变化性质等, 不受图像匹配条件限制。统计测试法可以用于对图像进行粗判断, 如果图像有变化, 则通过其他方法进行仔细检测。

(8) 背景相减法^[2]: 利用低通滤波器对 T_1 时相进行滤波, 将得到的结果作为背景并与 T_2 时相直接相减得到变化结果。该方法操作简单, 但是精度较低, 常用于森林研究。

此外, 还有一些不常用到的检测算法, 如 GIS 与遥感图像的融合方法、GIS 逼近方法、生物参数模型法等, 不一一介绍。随着各种理论的发展, 将新提出的算法, 如模糊理论和人工智能等, 与已有技术结合, 提出了很多新的变化检测方法。例如, 文献[71]利用模糊马尔可夫链进行变化检测研究, 文献[72]通过模糊 C 均值分类器检测遥感图像变化区域, 文献[73]和文献[74]在变化检测过程中引入遗