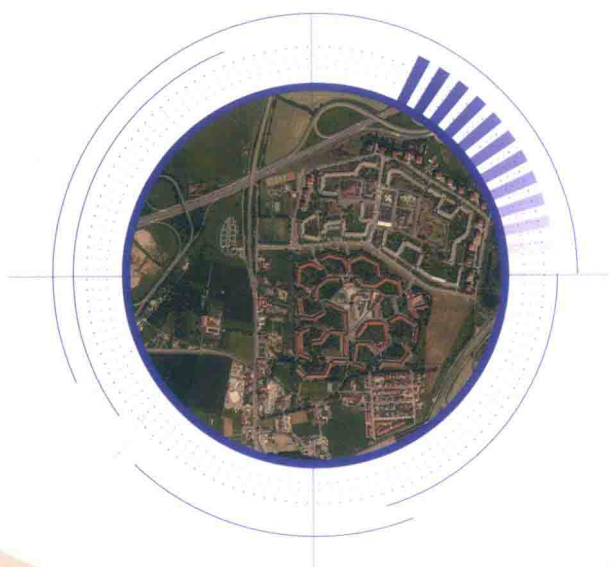


High Resolution Remote Sensing
Image Change Detection

高分辨率遥感影像 变化检测

王超 石爱业 陈嘉琪◎著



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

High Resolution Remote Sensing
Image Change Detection

高分辨率遥感影像 变化检测

王超 石爱业 陈嘉琪◎著



人民邮电出版社
北 京

图书在版编目 (C I P) 数据

高分辨率遥感影像变化检测 / 王超, 石爱业, 陈嘉琪著. — 北京: 人民邮电出版社, 2018. 11
ISBN 978-7-115-48666-0

I. ①高… II. ①王… ②石… ③陈… III. ①高分辨率—遥感图象—图象分析 IV. ①TP751

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第207026号

内 容 提 要

高分辨率遥感影像变化检测已成为遥感与 GIS 领域的研究热点, 目前, 已广泛应用于自然灾害监测与评估、土地资源规划等领域。它涉及几何校正、影像分割、目标提取、变化信息提取等诸多相关技术, 具有重要的理论研究意义和实用价值。本书系统地介绍了高分辨率遥感影像变化检测及相关技术的有关概念、原理、方法和新进展, 共分为 10 章。第 1 章主要介绍高分辨率遥感影像变化检测的意义、基本概念、相关技术及分类。第 2~10 章主要介绍高分辨率遥感影像变化检测中所涉及的配准、分割、目标识别、变化检测等相关技术的基本原理、方法及应用。

本书内容新颖、理论联系实际, 可作为遥感技术与应用、地球信息科学、计算机应用技术、土地资源管理等相关专业的研究生和高年级本科生、科研人员、工程技术人员的参考书。

◆ 著 王 超 石爱业 陈嘉琪

责任编辑 陈 娟

责任印制 彭志环

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号

邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

◆ 开本: 700×1000 1/16

印张: 12

2018 年 11 月第 1 版

字数: 222 千字

2018 年 11 月河北第 1 次印刷

定价: 86.00 元

读者服务热线: (010) 81055488 印装质量热线: (010) 81055316

反盗版热线: (010) 81055315

前言

自从人类进入利用遥感影像对地观测的时代以来,土地覆盖变化检测始终是促进遥感影像处理技术不断发展的主要动力之一。特别是随着城市化进程的不断加快,及时、有效地监测土地覆盖变化,为城市发展规划、土地资源管理、突发灾害应急响应等职能部门提供关键的决策支持信息和数据是十分必要的。

近年来,遥感影像呈现出精细化应用的发展趋势。高空间分辨率遥感影像能够提供更加丰富而细致的变化信息,而多时相遥感数据的获取手段也日趋多样化,因此,基于多时相高分辨率遥感影像的变化检测及相关的影像配准、分割、目标识别等技术受到了人们广泛的关注。尽管如此,空间分辨率的提高也给变化检测带来了新的挑战,例如,对配准误差、混合像元等干扰因素更加敏感,突出的“同谱异物”及“同物异谱”现象等。这些因素导致当传统针对中、低分辨率的变化检测方法直接应用于高分辨率遥感影像变化检测时往往达不到高精度检测的目标,同时也对变化检测过程中涉及的影像配准等相关技术的处理精度提出了更高的要求。因此,为实现高精度的高分辨率遥感影像变化检测,不仅需要有效的变化检测方法,还需要高效的几何配准、影像分割等相关技术。

针对高分辨率遥感影像的变化检测,目前,国内外研究机构和学者已经开展了广泛的模型与算法的研究,取得了许多宝贵的研究成果,提供了大量的优秀文献。尽管如此,目前,系统地介绍高分辨率遥感影像变化检测及相关技术理论、方法和应用的书籍非常少,即便是已有的书籍,视角也大都局限于变化检测方法本身,而对变化检测所涉及的相关技术缺少全面和系统的介绍,这使许多初涉该领域的学者和工程技术人员学习起来相当困难,不利于进一步深入地进行变化检测的研究和应用。为此,作者在总结多年高分辨率遥感影像变化检测及相关技术研究工作的基础上,综合国内外研究机构和学者的研究成果编写成本书。

本书系统地介绍了高分辨率遥感影像变化检测及相关处理技术的有关概念、原理和方法,共分为10章。第1章主要介绍高分辨率遥感影像变化检测方法研究现状、意义及应用。第2~10章主要介绍作者提出的高分辨率遥感影像变化检测及相关技术,主要包括基于小波变换及改进JSEG与归一化互信息的高分辨率遥感

影像配准技术、基于尺度参数自适应 WJSEG 的高分辨率遥感影像非监督分割技术、对象置信度指引下的高分辨率遥感影像分割技术、基于可靠卡方检验的非监督高分辨率遥感影像变化检测技术、结合空间约束卡方变换与马尔可夫模型的高分辨率遥感影像变化检测技术、结合 FCM 与 D-S 证据理论的高分辨率遥感影像变化检测技术、基于多尺度融合的对象级高分辨率遥感影像变化检测技术、一种对象级高分辨率 SAR 影像洪水灾害变化检测技术以及结合 LGDF-ACM 模型的高分辨率 SAR 变化检测技术。

本书是在国家自然科学基金项目“联合多源震后高分遥感影像的建筑物震害特征建模与识别”(61601229)、江苏省自然科学基金项目“基于分形属性剖面和主动学习的高分辨率遥感影像城市建筑物变化检测”(BK20160966)、江苏省高校自然科学研究面上项目“基于仿蝇视觉机制的高分辨率遥感影像变化检测研究”(16KJB510022)及江苏省高等学校优势学科项目资助的基础上完成的,其研究内容为高分辨率遥感影像变化检测中所涉及的新技术、新方向。

本书第 1~4、8、9 章由王超编写,第 5~7 章由石爱业、王超编写,第 10 章由陈嘉琪、王超编写,全书由王超、石爱业统稿。

最后,向所有参考文献的作者及为本书出版付出辛勤劳动的同志们表示衷心的感谢!同时,特别感谢徐立中在本书编写过程中给予的帮助。

鉴于作者水平有限,书中难免有缺点和不完善之处,还望广大读者批评指正。

王 超

2018 年 1 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 遥感影像变化检测的基本概念	1
1.2 变化检测的基本流程及相关技术	2
1.2.1 多时相遥感影像数据选择	2
1.2.2 影像预处理	3
1.2.3 特征提取	4
1.2.4 变化检测	4
1.2.5 精度评价	5
1.3 高分辨率遥感影像变化检测国内外研究现状	5
1.3.1 监督与非监督变化检测	5
1.3.2 数据源不同的变化检测	7
1.3.3 直接比较与先分析后比较的变化检测方法	9
1.4 对象级变化检测	12
1.4.1 对象级变化检测的优势及特性	12
1.4.2 对象级变化检测方法的分类及优缺点比较	13
1.4.3 对象级变化检测面临的挑战	15
参考文献	16
第 2 章 基于 JSEG 与归一化互信息的高分辨率遥感影像配准	28
2.1 问题分析	28
2.1.1 影像配准的基本框架	28
2.1.2 影像配准的分类	29
2.1.3 存在问题与研究思路	30
2.2 JSEG 与 NMI 相结合的配准方法	32
2.2.1 多尺度控制点提取	32

2.2.2	基于 NMI 的控制点匹配	34
2.2.3	基于 Delaunay 三角网的影像配准	36
2.3	实验与分析	36
2.3.1	数据集 1 实验	37
2.3.2	数据集 2 实验	40
2.3.3	数据集 3 实验	43
	参考文献	46
第 3 章	基于小波变换与改进 JSEG 算法的高分辨率遥感影像多尺度分割	49
3.1	问题分析	49
3.2	JSEG 算法及存在的关键问题	51
3.2.1	JSEG 算法实现	51
3.2.2	JSEG 在高分辨率遥感影像分割中的关键问题	52
3.3	WJSEG 算法实现流程	53
3.3.1	量化与小波变换	53
3.3.2	多尺度分割	56
3.3.3	区域合并	57
3.4	实验与分析	58
3.4.1	eCognition 影像分割	58
3.4.2	数据集 1 实验与目视分析	59
3.4.3	数据集 2 实验与目视分析	61
3.4.4	定量分析	62
	参考文献	64
第 4 章	对象置信度指引下的高分辨率遥感影像多尺度分割	68
4.1	问题分析	68
4.2	研究方法	69
4.2.1	构建初始种子区域集合	70
4.2.2	对象置信度指引下的多尺度区域合并	72
4.3	实验与分析	75
4.3.1	实验数据	75
4.3.2	对比算法及参数设置	75
4.3.3	实验结果及定性分析	76
4.3.4	定量精度评价	79
4.3.5	OC 曲线变化分析	79

参考文献	81
第 5 章 基于顽健卡方变换的高分辨率遥感影像非监督变化检测	84
5.1 问题分析	84
5.2 研究算法	85
5.2.1 协方差矩阵和均值的顽健估计	85
5.2.2 阈值自动提取	87
5.3 实验与分析	88
5.3.1 实验 1	88
5.3.2 实验 2	91
5.4 结论	94
参考文献	94
第 6 章 基于空间约束卡方变换和马尔可夫随机场的非监督变化检测	96
6.1 问题分析	96
6.2 SCCST 变化检测	98
6.2.1 SCCST 的介绍	98
6.2.2 伪训练数据集决定参数 α	99
6.2.3 基于 MRF 模型的检测优化	101
6.3 实验与分析	102
6.3.1 南京数据集检测结果	104
6.3.2 美国阿拉斯加数据集检测结果	105
6.3.3 OSR MiPy 数据集检测结果	106
6.3.4 Mina 数据集检测结果	107
6.3.5 Bastrop 数据集检测结果	108
6.3.6 变化检测法中置信度的作用	109
6.3.7 有关变化检测中 β 值的分析	110
参考文献	111
第 7 章 基于 FCM 和 D-S 证据理论的遥感影像变化检测	115
7.1 问题分析	115
7.2 D-S 证据理论与 FCM 算法	117
7.2.1 D-S 理论	117
7.2.2 FCM 算法	118
7.3 基于 FCM 算法和 D-S 理论的变化检测	119

7.3.1	确定区域与不确定区域的划分	120
7.3.2	基于 FCM 和 D-S 证据融合的质量函数的构建	122
7.3.3	基于冲突指数的参数优化	122
7.3.4	实施步骤	123
7.4	实验与分析	124
7.4.1	陆地探测卫星 (TM) 影像的实验	124
7.4.2	SPOT 影像的实验	127
	参考文献	130
第 8 章	基于多尺度融合的对象级高分辨率遥感影像变化检测	133
8.1	问题分析	133
8.2	研究方法	134
8.2.1	对象提取	134
8.2.2	对象特征提取及比较	135
8.2.3	多尺度融合	136
8.3	方法实现流程	138
8.4	实验与分析	139
8.4.1	数据集 1 实验	139
8.4.2	数据集 2 实验	143
8.4.3	尺度依赖性及融合策略	145
8.4.4	不同融合策略变化强度差异	146
	参考文献	147
第 9 章	基于 SAR 影像的水陆区域提取	150
9.1	引言	150
9.2	湖泊轮廓线提取	151
9.2.1	SAR 影像预处理	151
9.2.2	主动轮廓模型算法描述	152
9.2.3	粗精结合的主动轮廓模型	156
9.3	城镇区域提取	156
9.3.1	基本概念	157
9.3.2	基于 DBSCAN 算法的城镇区域提取	158
9.4	实验结果与分析	159
9.4.1	实测数据的轮廓线提取	159
9.4.2	实测数据的城镇区域提取	161

参考文献	162
第 10 章 高分辨率 SAR 影像洪水灾害变化检测	165
10.1 问题分析	165
10.2 研究方法	167
10.2.1 基于轮廓波变换的噪声抑制及标记点提取	167
10.2.2 基于标记点的分水岭分割及区域合并	172
10.2.3 虚假目标消除	172
10.3 实验与分析	173
10.3.1 水体提取实验	173
10.3.2 水体区域变化检测实验	178
参考文献	181

第 1 章

绪 论

近 40 年来,随着航空航天遥感技术的飞速发展,海量的多时相遥感影像为监测区域乃至全球的土地覆盖变化提供了重要的数据来源^[1-2]。

特别是随着以 SPOT 5、QuickBird、IKONOS 等为代表的米级、亚米级高分辨率遥感影像的广泛应用,利用高分辨率遥感影像进行及时、有效的土地覆盖变化检测,已经在城市发展动态监测、土地资源规划、突发灾害处置等重大国防及民生领域中发挥着不可替代的关键作用^[3]。

1.1 遥感影像变化检测的基本概念

土地覆盖是指人造目标与自然地物所构成的地表要素的综合体,是地表自然状况的反映。所谓多时相遥感影像的土地覆盖变化检测,其实质是利用同一地区不同时相的多幅遥感影像,监测和分析该地区地物变化信息的过程,即通过在不同时期观察某一对象或现象,识别它们不同状态的过程^[4]。

在不同时相、相同地区的遥感影像中,光谱的变化能够反映不同地物类型的变化是利用遥感影像进行变化检测的前提之一,这是由不同类型地物通常具有不同的光谱反射特性所决定的。另外,光照差异、视角差异、不同传感器间的差异、噪声、阴影等干扰因素必须小于地物发生的真实变化,这也是实现准确变化检测的基本前提之一^[5]。一般来说,广义的变化检测即判断某一地物是否发生了变化,最终获得发生变化的区域,即确定“变与不变”,这是变化检测研究的基础与核心^[6]。在此基础上,可以进一步判别变化的性质,即确定“由什么变成什么”以及变化类型,即确定“变化的过程”^[6]。

1.2 变化检测的基本流程及相关技术

变化检测的基本工作流程主要包括^[5]：数据选择，即根据研究目的选择合适的遥感影像；影像预处理，主要涉及几何配准技术、辐射校正技术等；特征提取，即提取目标的特征以比较目标在不同时相间的差异；变化检测，即检测合适的特征对象在多时相影像中是否发生了变化；精度评价，即利用目视分析、精度指标等手段对检测结果进行评价。变化检测的基本工作流程如图 1.1 所示。

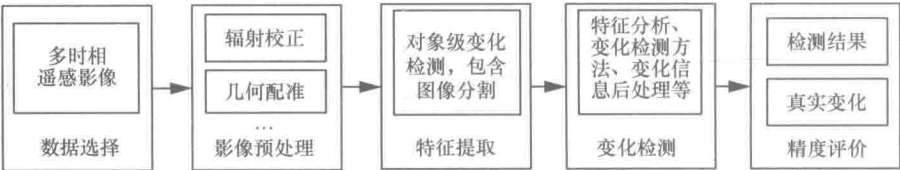


图 1.1 变化检测的基本工作流程

1.2.1 多时相遥感影像数据选择

根据研究目的选择合适的多时相遥感影像数据是开展变化检测的基础和前提^[6]。高分辨率遥感影像带来了更加丰富的空间信息，相较于中、低分辨率遥感影像，其能够更好地反映地物的光谱、纹理、形状等细节特征，同时具有定位精度高、实时性强、对比度高等诸多优点。近年来，国际上出现了以高分辨率遥感数据为背景的地理空间信息服务的软件和网站，使高分辨率影像数据正在成为社会公众所熟悉和接受的主流空间信息^[7]。

目前，变化检测采用的高分辨率遥感影像主要包括航空遥感影像、合成孔径雷达（SAR, Synthetic Aperture Radar）卫星遥感影像、光学卫星遥感影像等，根据研究目的合理选择不同传感器类型的遥感影像是数据选择的重要内容。例如，航空遥感影像通常具有 1 m 以内的空间分辨率，还具有可读性强、信息量丰富、应用范围广等优点，但是在变化检测中较光学卫星遥感影像更容易受到几何配准、阴影、噪声以及气象条件等因素的影响^[8]。SAR 卫星遥感影像具有全天候、穿透力强等优点，能够在极端天气条件下获取可靠的观测数据，但成像机理的固有局限导致的相干斑噪声使 SAR 卫星遥感影像变化检测较光学卫星遥感影像面临更多的挑战^[9]。另外，应尽量选择采集时刻接近、季节相同的多时相遥感影像，以减少太阳高度角、物候条件等因素造成的影响^[10]。同时，还应尽量选择辐射分辨率相同的遥感影像，而大气环境、光照差异、云层遮盖等也是需要考虑的因素^[11]。

此外,遥感影像的时间分辨率也是需要考虑的因素。一般认为,遥感影像采集间隔为3~4年才能较为准确地反映土地覆盖变化。但随着人类活动进程的不断加快,往往需要更高的时间分辨率(即更短的时间间隔)^[12]。

1.2.2 影像预处理

由于遥感系统的信息获取会受到太阳高度角、光照差异、云层遮盖、大气的吸收与散射、传感器高度与姿态角等因素的影响,因此在变化检测之前需要进行合理有效的影像预处理过程,主要包括辐射校正、几何配准、影像镶嵌、影像增强、影像裁剪等。其中,辐射校正与几何配准对变化检测精度影响最大^[13]。

1. 辐射校正

辐射校正就是对遥感影像成像过程中由于辐射差异造成的影像畸变进行校正或消除的过程。造成辐射差异的主要原因包括传感器系统的非正常工作、大气衰减引起的吸收及散射率变化等^[14]。辐射校正又分为相对辐射校正和绝对辐射校正^[15]。相对辐射校正是指通过计算多时相影像间的灰度线性变换关系,并以参考影像修改待配准影像的灰度统计特征,使多时相影像具有趋于一致的光谱特征。绝对辐射校正是针对单一时相影像,使校正后的灰度统计特征能够真实反映地物的光谱特征。目前,很多学者已经针对变化检测中的辐射校正取得了一定的研究成果,且已经证明:绝对辐射校正并不会显著提高变化检测精度,而相对辐射校正可以满足大多数变化检测应用的要求^[16]。因此,辐射校正不作为本书的重点内容。

2. 几何配准

作为变化检测中重要的预处理过程,几何配准就是通过选择合适的相似性度量,对同一场景中2幅或多幅不同时相、不同视角的影像进行对应和匹配的过程。实质上,配准就是将2幅或多幅多时相影像变换到相同的坐标系下,然后使用一种像素间坐标转换的映射函数,来纠正待配准影像相较于参考影像的位移或几何形变等。通常情况下,多时相影像几何配准由4个要素组成,即特征空间、相似性度量、搜索空间以及搜索策略^[17-20]。

(1) 特征空间

特征空间用于描述待配准像素所具有的特性,以达到匹配像素间具有高度相似性而非匹配像素间具有较大差异性的目的。特征空间可以由灰度值构成的一维特征空间;也可以是由光谱、纹理、结构特征等构成的多维特征空间,如灰度共生矩阵(GLCM, Gray-Level Co-occurrence Matrix)、分形属性(FP, Fractal Property)等;还可以是统计特征,如中心点、矩形不变量等。

(2) 相似性度量

顾名思义,相似性度量就是基于构建的特征空间,评价某个待配准像素与参

考影像像素间匹配程度的一种度量标准。所构建的特征空间与相似性度量应能够反映影像的本质结构，从而在一系列的处理中具有不变性。常见的相似性度量包括相关系数、各种距离（欧氏距离、马氏距离等）、相位相关、结构自相似性（SSIM, Structure Similarity）等。

（3）搜索空间

搜索空间是待配准特征与参考特征之间建立对应关系的候选变换集合，即某个待配准像素在参考影像中寻找匹配像素时所对应的搜索范围。

搜索空间的构建应当依据待配准影像相对于参考影像间的成像畸变类型与强度。例如，若影像间只存在线性变换关系，则采用二维搜索空间（水平、垂直方向）即可；若存在旋转，则需要考虑加入旋转因子；若存在缩放，则必须加上比例因子。

（4）搜索策略

搜索策略是依据特征空间及相似性度量来确定匹配点对的计算方式，一般还会指出搜索的范围及路径。常用的搜索方法有穷尽搜索、线性规划、启发式搜索等。

低精度的几何配准往往会造成变化检测结果中存在大量无意义的“伪变化”信息。几何配准的效果通常与 2 个因素有关^[21]：待配准影像的空间分辨率和感兴趣目标的结构特征。尤其在高分辨率遥感影像配准中，Dai 等^[22]的研究成果表明，遥感影像的空间分辨率越高，配准误差对变化检测精度的影响越大。因此，高分辨率遥感影像的几何配准技术是本书的重点研究内容之一。

1.2.3 特征提取

在进行特征提取时，应选择某种地物区别于其他地物的独有特征，这些特征包括目标的灰度特征、纹理特征、形状特征、语义信息等。在具体应用中，为提高检测精度，通常应选择多种特征组成的特征向量，并且使变化区域的特征向量在长度或方向上有足够大的差异，而未变化区域则具有一致的方向或长度的特征向量。

像素级的变化检测方法以像素作为特征提取的基本单位，而对象级变化检测方法主要是利用属于特定对象的独有特征来描述复杂的地理空间信息，如几何形状、纹理特征等，而不是专注于孤立的像素^[23-24]。因此，对象级变化检测方法还包括影像分割这一关键步骤，也是本书的重点研究内容之一。

1.2.4 变化检测

变化检测是通过选择合适的方法，利用提取的特征检测多时相影像间的变化

信息。国内外的许多研究机构和学者已开始研究该课题,目前,国际上处于领先地位的主要有意大利特兰托大学(University of Trento) Lorenzo Bruzzone教授及 Francesca Bovolo教授领导的遥感实验室团队等^[25-26]。本书第1.3节将从3个不同角度对高分辨率遥感影像变化检测的国内外研究现状进行综述。在此基础上,本书第1.4节将着重讨论对象级变化检测的发展现状。

1.2.5 精度评价

像素级变化检测中常用的精度指标可以通过计算灰度误差矩阵获得,主要包括总体精度(Overall Accuracy)、误检率(Miss Detection Rate)、漏检率(False Alarm Rate)、Kappa系数等^[27]。其中,总体精度是指正确的样本在总体样本中所占的比例,Kappa系数则能够综合反映变化检测方法的精度。Biging等^[28]的研究表明,基于像素的精度评估往往低于基于对象的精度评估,但计算复杂度更高。另外,对象级变化检测方法为评估对象的大小、形状以及边界范围等特征的不同变化等级提供了可能^[29-30]。

1.3 高分辨率遥感影像变化检测国内外研究现状

目前,遥感影像的变化检测问题已经成为一个非常活跃的研究课题,如美国国家地理空间智能研究所,意大利特兰托大学,新加坡国立大学,中国的中国科学院遥感所、武汉大学、北京师范大学等机构都在开展相关方面的研究和应用开发,并取得了诸多成果。目前,人们已经就变化检测预处理对变化检测的重要性达成共识,如辐射归一化、影像配准等^[31-32]。本节将从3个不同角度对现有的变化检测方法予以分析和归纳。

1.3.1 监督与非监督变化检测

按照变化检测过程中是否需要人工干预,可以将变化检测划分为2类:监督变化检测和非监督变化检测^[33]。

非监督变化检测一般先构造差分影像,进而再依据预先设定的阈值将差分影像划分为变化和未变化区域。传统的非监督变化检测方法主要有算术运算法、CVA法及其改进方法、主成分分析(PCA, Principle Component Analysis)法、影像回归法等^[34-38]。该类方法的核心是阈值的选择,针对此,国内外一些学者提出许多有效的方法,主要有试错法、最大类间方差法、Stack滤波器法^[39]、双窗口变步长

法^[40]、Bayes 最小误差决策法^[41]、基于“爬山法”的系统级搜索法^[42]等。另有一些学者在差值影像的分割基础上,将变化检测问题转换为变化和未变化的 2 个类别问题,并借助模式识别方法实现最终的变化检测^[43]。上述传统的变化检测方法大多是基于像素的方法,适用于中、低分辨率遥感影像,且这些方法都是暗含像素在空间上具有独立性的假设。针对高分辨率影像,由于其结构、纹理等信息更加突出,因此,将像素的上下文关系考虑到影像的变化检测中是合理的。这一类检测方法的关键点是如何选择合适的方法将空间特征知识融合起来,以提高变化检测的可靠性和有效性,代表性的方法主要有证据理论法、统计建模法^[44-45]、信息测度法^[46]、多尺度分析法^[47-49]、聚类法^[50]等。这些检测方法虽然对传统的变化检测方法进行了改进,但其所面临的辐射差异、配准误差以及差分影像的阈值选取问题依然存在。从另外一个角度看,传统的检测方法及其改进的方法,在本质上均属于基于像元光谱统计的处理方式,其效率及其获得的结果信息都是十分有限的,且处理结果往往会存在许多小斑块,难以对其分析和描述。因此,面向对象的高分辨率遥感变化检测方法正越来越多地受到关注^[50-51],这是因为面向对象的变化检测更有利于知识的结合利用,也更能有效地利用高分辨率影像所具有的多特征优势。总之,非监督变化检测方法及其改进方法的优点是比较直观、不需要先验信息,但是该类方法也存在诸多局限性,例如,变化阈值的确定比较困难、不能够提供变化的类型、解译和标记变化检测图比较困难等。此外,辐射校正和几何校正结果的精度对检测效果有着明显的影响。

为了克服非监督变化检测方法的不足,可以采用监督变化检测方法。该类方法需要检测区域的先验信息,主要分为分类后比较法、直接多时相分类法、差值影像分类法 3 类^[52-56]。其中,该类方法的核心是分类方法的选择。由于高分辨率遥感影像噪声和类别的高度扩展使分类问题特别复杂,因此,需要采用顽健的、非线性的分类器。其中,具有代表性的是基于 SVM 分类的变化检测方法以及相关的改进方法^[57-58]。该类方法的优点是可以直接获取变化的类型、数量和位置,且能回避所用多时相数据因获取季节不同和传感器不同所带来的归一化问题。但该类方法存在如下 2 个缺点:首先,无法检测出存在某一种地物内部的细微变化;其次,分类器的精度高低直接影响变化检测的精度。另外,如何收集和选择合适的训练样本,也是这类方法必须考虑的因素。

上述变化检测方法在特定的领域中都取得了一定的效果。然而,由于影像的正射校正、视差效果等会导致影像空间上的非连续性,而采用多源数据空间上的融合可以改善这种情况,但是会产生非线性时间效应。针对该问题,已有学者开展了相关的研究^[59],但是所采用的方法也是基于像素的研究方法,不利于知识的结合利用。另外,在面向对象的常规变化检测中,特征的抽取仅仅局限于空域,没有考虑联合空域和频域特征的抽取,从而更好地描述高分辨率影像的内在特征。

1.3.2 数据源不同的变化检测

除了按照是否需要人工干预进行划分外,还可以根据采用数据源的不同将变化检测划分为4类,分别是基于高分辨率光学遥感影像的方法、基于SAR影像的方法、基于高程数据的方法、基于多源数据的方法。其中,基于高程数据的方法主要面向城市场景下建筑物的变化检测。为便于分析和比较不同数据源的优缺点,本节均围绕建筑物变化检测的国内外研究现状展开讨论。

1. 基于高分辨率光学遥感影像的方法

袁修孝等^[45]利用Gabor滤波器抽取建筑物的纹理特征,然后利用散度作为变化类与未变化类的可分性依据有效提取了变化信息,并进一步对检测结果中由于投影差造成的“伪变化”进行了判别。Gueguen等^[47]利用高帽(Top-Hat)变换并结合水平集的分割方法对海地地震后国内难民营的数量进行了检测。Bruzzone等^[10]从建筑物形态学指数(MBI)、光谱信息、形状特征3个方面对建筑变化信息进行描述。在此基础上,利用变化建筑物与其对应区域的光谱变化的相关性作为另一个判别依据。最后,利用形状特征对检测结果进行后置滤波,以消除噪声、狭窄道路等形状不规则的对象造成的“伪变化”。Tang等^[60]进一步利用MBI,提出了一种具有容错性的高分辨率遥感影像建筑物变化检测方法。该方法主要包括2个步骤:利用MBI和Harris角点检测用于标识建筑物的兴趣点;多时相建筑物兴趣点匹配以及容错变化检测。该方法对不同成像条件下造成的建筑物几何差异不敏感,但能够显著降低虚警率。李炜明等^[51]提出了一种基于多种类型影像特征的匹配方法来提取无变化建筑的顶部区域,结合几何约束引入了变化盲区概念以处理高层建筑在不同视角和光照下影像不同的现象。Benedek等^[46]在概率统计框架下,整合建筑物的抽取和变化检测,并应用多生灭动态优化技术对多时相航空遥感影像进行建筑物的变化检测。该方法实现了基于多时相的标记点处理,同时利用时间层和目标层的建筑物描述的低层变化信息,区分变化和未变化的建筑物。他们采用的建筑物特征有局部梯度方面密度、房顶彩色滤波和阴影推理、房顶的同质性等。

尽管如此,基于高分辨率光学影像的变化检测方法仅利用了二维信息,对建筑物材料腐蚀、视角差异造成的形状改变和建筑物高度、阴影以及辐射吸收等造成的光谱差异产生了“伪变化”,顽健性较差。

2. 基于SAR影像的方法

SAR影像根据其成像原理,具有对大气环境变化、光照条件差异不敏感的优点,因而在变化检测过程中能够有效减少云层遮盖、建筑物阴影等干扰因素的影响。例如,Marin等^[41]提出了一种基于超高分辨率SAR影像的地震前后建筑物损毁变化检测方法,该方法包括3个步骤:建筑物描述的最佳尺度选择;最佳尺度下基于高帽