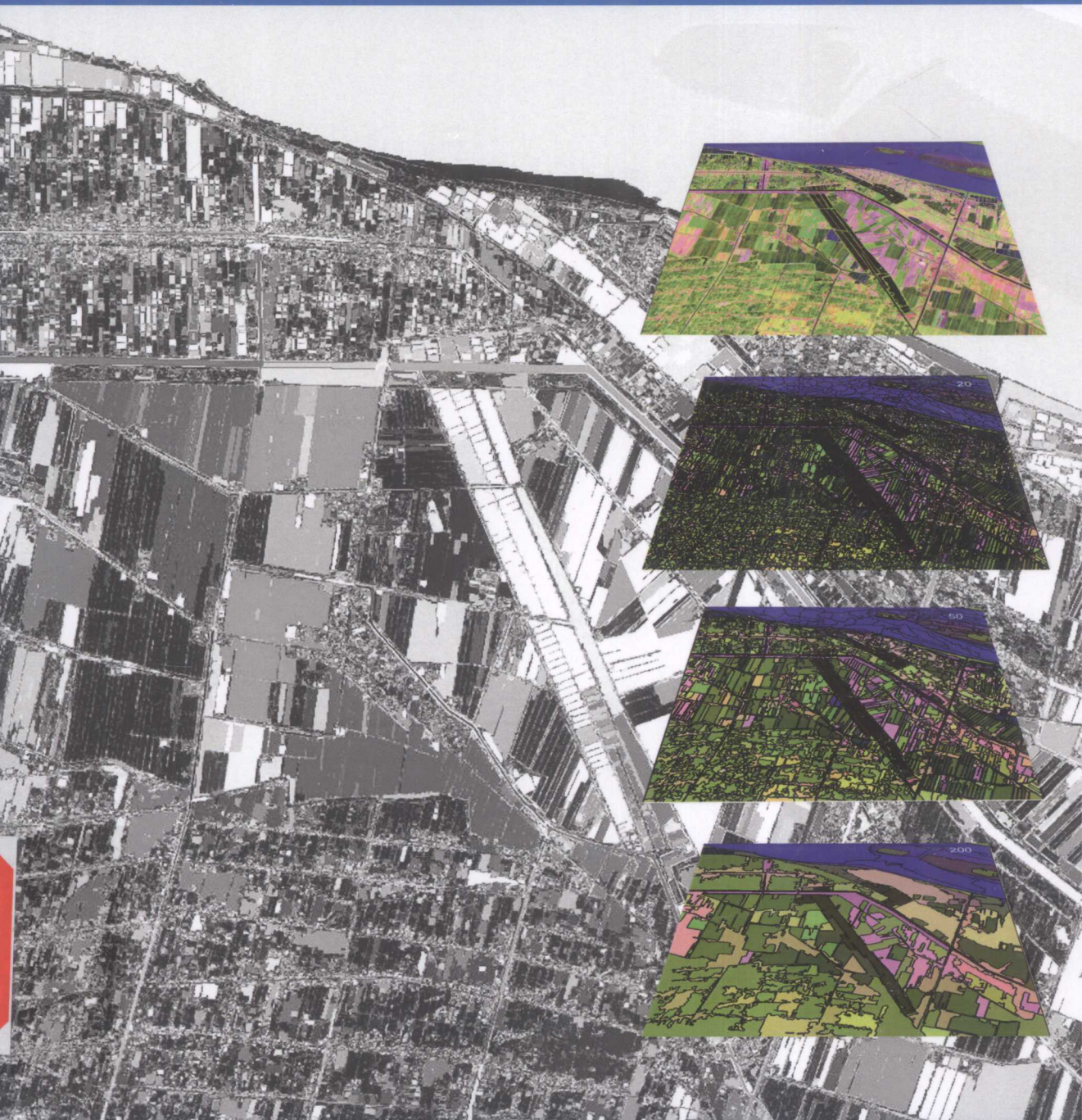


图像对象层次的遥感影像分析

Geographic Object Based Image Analysis

陈建裕 张汉松 ○ 著



科学出版社

图像对象层次的 遥感影像分析

陈建裕 张汉松 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

图像对象层次的高分辨率遥感图像信息获取是近十年来遥感应用领域的前沿。本书系统地阐述了高分辨率遥感图像多尺度分析的基础理论、算法实现、尺度优化及其应用技术。首先,叙述了面向地理对象的遥感图像分析方法的发展过程、高分辨率遥感影像蕴含的地物信息。其后,分析了多种类型的遥感图像分割算法,重点讲述了多尺度分析方法的理论基础与技术实现、最优分割的尺度问题、集成边缘信息的图像多尺度分析技术途径等。最后,探讨了利用分割技术实现图像对象层次的遥感分类和变化检测方法。结合实际需求,还给出了高分辨率遥感图像应用多尺度分析的若干案例。

本书可供从事遥感测绘、图像处理、地理信息科学等领域研究的人员和工程技术人员参考使用,也可作为高等院校相关专业的教学和研究资料。

图书在版编目(CIP)数据

图像对象层次的遥感影像分析/陈建裕,张汉松著. —北京:科学出版社, 2016

ISBN 978-7-03-047847-4

I. ①图… II. ①陈…②张… III. ①遥感图像-图像分析 IV. ①TP751

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第057575号

责任编辑:赵丽欣 张瑞涛 / 责任校对:马英菊
责任印制:吕春珉 / 封面设计:东方人华平面设计部

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>

北京京华虎彩印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年3月第一版 开本:787×1092 1/16

2016年3月第一次印刷 印张:13

字数:300 000

定价:54.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈京华虎彩〉)

销售部电话 010-62136230 编辑部电话 010-62134021

版权所有,侵权必究

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

前 言

遥感技术的出现,改变了人类观测地球的方式;可重复性的遥感资料的获取,使得人类具有了周期性了解广域地表环境动态变化的新途径。随着遥感技术的发展,光学遥感影像的空间分辨率已从最初的百米级提高到米级,甚至更高,重访周期也已大大缩短。随着图像技术的发展,以利用遥感图像中的空间信息为目标的面向地理对象的图像分析方法得到了迅速发展。

现阶段,米级/亚米级的分辨率卫星遥感数据众多,国外商业卫星数据如 SPOT、IKONOS、QuickBird、WorldView、GeoEye 等,我国高分辨率遥感数据有高分一号、高分二号等。此类卫星一般采用太阳同步轨道获取数据,卫星姿态控制灵活,可以通过倾斜和摆动偏离星下点对地观测。与早期的 Landsat 卫星等获取星下点地表覆盖类型的成像机制相比,米级遥感图像中目标对象的几何结构所蕴含的空间信息是识别地物对象的重要信息源。传统遥感信息获取方法往往将地表场景中的地物简单理解为具有相似朗伯体系光谱反射发射结构,缺乏对场景空间信息进一步的解译过程。然而,在高分辨率的遥感影像中,地物的空间结构外化为多个相邻像素的集合,传统的遥感信息获取手段面临新的挑战。

丰富的高分辨率商业遥感卫星、多种类型的无人飞行器、载人航空等遥感平台及其传感器各具优势,高分辨率遥感数据的获取能力得到长足的提高。遥感空间分辨率的提高,给我们提供了一种身临其境的感官认知,而当前的遥感图像处理技术却是缺乏人类视觉感知过程中的视觉加工机制。目前的遥感影像处理方法主要是基于像元光谱特征,在复杂区域中的地学应用却达不到我们对技术本身的要求。遥感信息获取能力不及常人目视所获取的信息丰富。遥感影像从中低分辨率提高到亚米级高分辨率,地物目标的影像特征发生了显著变化,信息更加丰富,采用单一光谱特征难以全面描述高分辨率影像上众多复杂的地物目标。然而,复杂环境遥感的数据分析处理能力却没有得到相应的提高,不断增长的海量遥感数据中的大部分数据并没有得到有效的分析利用。由此可见,实现遥感数据向空间信息智能转化的影像认知模式与图像理解等相关研究需求迫切。如何充分利用高分辨率遥感信息中所蕴含的地物光谱、空间结构、成像信息等先验知识,建立可计算的遥感信息解析机制来分析复杂场景环境,是高分辨率遥感图像理解的难点。

空间分辨率的提高,使得我们认知的地物在遥感影像中呈现为像素集合。在高分辨率的遥感影像中,需要通过图像处理的方式去获取其反映在影像上的像素集合及其空间结构。在最近十年内,以获取和利用图像中像素集合为目标的各种分割算法及面向对象的图像分析方法(OBIA/ GEOBIA)迅速发展,相对于像素级而言已是技术发展的一大进步。与此同时,利用地物空间信息提高遥感信息获取能力得到更多重视,利用空间信息的关键在于获取图像对象,图像对象是指遥感影像上与地物内在尺度一致的像元集合。因此,综合遥感影像所能反映的光谱和空间信息等全部信息,发展图像对象层次的遥感影像信息处理技术已是从根本上提高遥感信息获取能力的必然,也是进一步实现遥感图像解译推理的基础。

GEOBIA 概念与技术为图像与地表信息的多尺度分析提供了连接,同时能有效克服

传统分类方法中的“椒盐”效应。面向图像对象的分析方法在于充分利用高分辨率多源遥感数据中所蕴含光谱、空间和上下文信息，提高复杂环境的遥感信息获取能力，促进遥感图像分析和信息获取自动化程度，解决遥感数据利用率低的问题。对于高分辨率遥感而言，传统图像分类这种粗犷型的遥感数据处理技术已难以适应信息获取的需求。近年来，以利用地物空间信息为目标的基于图像对象的处理方法在遥感应用中得到普遍认可。在遥感变化检测领域，图像对象是利用地物空间信息提高变化检测能力的自然手段，当地物的大小形状发生变化时，体现在遥感影像为图像对象的大小形状随之变化。常识告诉我们，地物对象的大小、形状发生了变化，即使不考虑地物的其他信息，我们也能认知到变化发生了。面向图像对象的分析方法迅速发展，并在高分辨率遥感应用方面得到日益重视和广泛应用。图像对象层次的遥感影像处理技术相对于像元级的处理而言，技术发展是跨越式的，这是显而易见的。

面向对象的遥感图像处理是目前高分辨率遥感信息处理中的热点，本书系统地阐述了面向地理对象遥感图像分析的基本概念、模型方法和应用技术，也包括作者近年来的研究成果。重点讲述了高分辨率遥感影像多尺度分割算法、从多尺度分析中确定具有地物内在尺度的最优分割图像对象、利用边缘信息约束多尺度分割中的图斑增长等，并从多个方面展示了面向对象的遥感影像分析方法在变化检测中的应用。

全书分为 11 章。第 1 章绪论，通过文献分析，着重分析了面向对象遥感影像分析发展历程、概念、软件实现等。在第 2 章为影像与图像对象所蕴含的信息，介绍了常见的高分辨率卫星遥感数据，描述了遥感影像中面向地学应用的光谱信息、纹理信息、几何形状及空间关系等信息。第 3 章综述图像分割方法，在阐述图像分割原理和相似性度量的基础上，展示了多种类型的分割算法结果。第 4 章重点围绕遥感影像多尺度分析技术，全面叙述了多尺度分析方法原理、算法实现、算法中参数选择等细节。第 5 章在多尺度分析中集成边缘信息，描述了图像中边缘获取、如何在多尺度分割算法中有效利用图像的边缘信息。第 6 章针对图像对象的最优分割问题，涉及最优分割尺度、最优分割算法的实现，并从理论上探讨了图像分割中对象的可分离性。第 7 章为图像分割方法的精度评价，强调分割结果评价的多样性，从非监督评价方法和监督评价方法两方面进行叙述。第 8 章图像对象分类及信息获取是多尺度分析方法的主要应用方向，通过分类方法实现遥感影像中专题信息的获取。第 9 章和第 10 章都是讲述基于分割技术的遥感变化检测，第 9 章在分割结果基础上利用区域协方差阵进行遥感图像的变化检测，第 10 章在图像多尺度分析基础上，基于栅格的叠置分析，识别并利用图像对象的形状变化信息实现变化认知。第 11 章在分析多个类型的形状描述后，以云检测和云阴影为例，叙述了图像对象的形状表达与匹配方法及其应用。

本书内容由多位合作者联合贡献，包括了多位研究生、博士生的工作。作者前后与吴均平、陈晓东、张汉松、李著、吴永月、黄河羚婕等博士、硕士研究生一起合作研究，特此表示感谢。感谢卫星海洋环境动力学国家重点实验室以潘德炉院士、毛志华研究员为首的海洋卫星遥感技术创新团队；感谢浙江大学地球科学系的陈宁华教授、黄清波、倪妮娜、董津津等同行朋友。

陈建裕

2015 年 10 月终稿于杭州

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 面向地理对象的遥感图像分析技术	1
1.1.1 概念	1
1.1.2 技术背景与历程	2
1.1.3 GEOBIA 思想与特色	4
1.2 GEOBIA 发展与工具软件	6
1.3 GEOBIA 研究进展	9
1.3.1 分割尺度的选择与优化	10
1.3.2 面向对象的遥感信息获取	11
1.3.3 面向对象的遥感变化检测	12
1.3.4 GEOBIA 与地学知识的关联	14
第 2 章 影像与图像对象所蕴含的信息	17
2.1 高空间分辨率遥感影像	17
2.2 图像对象中蕴含的信息	21
2.2.1 遥感影像中的物理量	22
2.2.2 地物波谱信息	24
2.2.3 图像的颜色信息	25
2.2.4 纹理信息	26
2.3 图像对象中的空间信息	29
2.3.1 几何位置信息	29
2.3.2 关系特征	31
2.3.3 形状特征	33
2.3.4 空间结构信息	34
2.3.5 空间信息的矢量表达	34
第 3 章 图像分割方法	36
3.1 相似性度量	36
3.2 图像分割基础	39
3.3 超像素图像分割	41
3.4 均值漂移聚类图像分割	42
3.5 纹理图像分割	44
3.6 图像混合分割	45
3.6.1 图像分割预处理	46
3.6.2 基于分水岭变换的混合分割算法	49
3.6.3 分割实验与结果分析	52

第 4 章 遥感影像多尺度分析技术	55
4.1 遥感影像多尺度分割算法	55
4.1.1 多尺度分割算法原理	55
4.1.2 图像对象的合并	57
4.2 分割算法优化	61
4.2.1 波段选择	61
4.2.2 分割参数选择	62
4.2.3 分割过程描述	63
4.3 分割结果分析	64
4.3.1 分割策略对结果的影响分析	64
4.3.2 不同地物分割结果分析	66
4.4 算法的变化	68
4.4.1 分割中合并代价的计算方法	68
4.4.2 生长点的选择	70
4.4.3 合并准则及次序	71
第 5 章 集成边缘的多尺度分析	75
5.1 边缘与多尺度分析	75
5.2 边缘检测	76
5.2.1 Canny 边缘检测	76
5.2.2 SUSAN 边缘检测	78
5.2.3 置信度边缘检测	78
5.3 边缘引导的多尺度分割方法	81
5.3.1 边缘获取	83
5.3.2 边缘约束的图像分割	84
5.3.3 应用案例	85
第 6 章 图像对象的最优分割	89
6.1 最优分割问题	90
6.2 全局最优分割尺度	91
6.3 图像对象的最优分割尺度	94
6.3.1 算法原理	94
6.3.2 分割过程分析	96
6.3.3 基于显著性曲线的最优分割结果确定	97
6.3.4 基于差异性的图像对象识别	99
6.4 图像对象可分性理论分析	103
6.4.1 相邻图斑之间的分类可分性问题	103
6.4.2 分割过程中显著性差异的变化	104
第 7 章 图像分割精度评价	108
7.1 图像分割精度评价概述	108
7.2 非监督评价方法	109

7.2.1	区域内部一致性度量	110
7.2.2	区域差异性度量	113
7.2.3	复合度量	114
7.2.4	基于边界的分割评价	115
7.3	监督评价方法	115
7.4	应用案例	119
第 8 章	图像对象分类及信息获取	123
8.1	模糊聚类法	124
8.2	最邻近分类法	126
8.3	支持向量机分类法	130
8.3.1	SVM 分类基本原理	130
8.3.2	SVM 分类实现途径	131
8.3.3	决策树支持向量机的遥感图像分类	134
8.3.4	案例分析	136
第 9 章	基于图像分割的变化检测	139
9.1	遥感变化检测法	140
9.1.1	遥感变化检测的一般步骤	141
9.1.2	遥感变化检测精度评价	142
9.2	基于图像分割的变化检测概述	142
9.3	面向图斑的直接遥感变化检测法	145
9.3.1	区域协方差阵描述子	148
9.3.2	算法描述	149
9.4	案例分析	151
9.4.1	变化检测法对分割尺度的依赖	153
9.4.2	特征集成影像与图斑协方差阵表	153
9.4.3	结果讨论	154
第 10 章	图像对象层次的变化检测	158
10.1	相关研究工作	159
10.2	算法基础	160
10.3	方法描述	162
10.4	应用案例	163
10.4.1	变化检测结果	165
10.4.2	与常规变化检测方法比较	167
10.5	讨论与结论	170
10.5.1	形状变化意味着变化	170
10.5.2	有意义的图像对象至关重要	171
第 11 章	图像对象的形状表达及匹配	172
11.1	基于轮廓特征的形状匹配	172
11.1.1	基于图像矩的形状匹配	173

11.1.2	基于 Shape Context 的形状匹配算法	174
11.1.3	基于 MPHD 的形状匹配算法	175
11.2	云和云的阴影的形状表达及匹配	177
11.2.1	云与云阴影图像对象获取	177
11.2.2	云与云阴影图像对象的匹配前处理	180
11.2.3	匹配过程优化	181
11.2.4	云及云阴影替补	184
参考文献		187
后记		200

第 1 章 绪 论

1.1 面向地理对象的遥感图像分析技术

1.1.1 概念

在过去十多年时间里,面向对象的图像分析处理技术(Object-Based Image Analysis, OBIA)引起了世界上诸多学者的极大关注,其理论和方法得到了快速发展。OBIA(即 GEOBIA,本书以下同)的核心思想是把图像对象而不是像元作为遥感数据中的最小处理单元,它的核心技术是通过影像分割与特征空间聚类,在图像对象与地理对象之间建立链接。

近年来,随着 OBIA 理论的提出、认可和深入,一个高度争议性的学术讨论广泛地出现在这个多学科交叉领域:地理空间(Geographic Space, GS)的含义是否应包含在 OBIA 的名字里面,即这个概念究竟应被称为“GEOBIA”还是“OBIA”?加拿大学者 Hay 和 Castilla(2008)认为:“当我们利用 Google 搜索‘OBIA’时,我们找到的信息可能是 Offshore Biologically Important Area、Ontario Brain Injury Association 和 Oregon Building Industry Association 等;在众多的名称中,‘GEOBIA’更符合 Remote Sensing(RS)和 Geographic Information Science(GIS)应用的内涵。”一般认为,“OBIA”的表达更宽泛且方便广泛使用,但它不专属于遥感科学家、GIS 专家以及众多环境学者。但“GEOBIA”本身带有明显的地学概念,我们能将它同广泛意义上的面向对象的图像分析方法(Object-Based Image Analysis)有所区别,而且后者更多地和计算机视觉、生物图像处理联系在一起。国际上大部分学者也认为:OBIA 应该被称为面向地理对象的图像分析(Geographic Object Based Image Analysis, GEOBIA),这样才能更加准确地代表地理信息科学(GIScience)领域的一个分支。英文名称 Geographic Object-Based Image Analysis(GEOBIA,发音为 ge-o-be-uh),即面向地理对象的图像分析,类似的翻译还包括“面向对象的地理分析”、“对象导向的地理分析”等。GEOBIA 是地理信息科学下面的子学科,在于发展将遥感图像分割成有意义图像对象的算法,并在空间、光谱、时间尺度上评估其规格参数,产生适宜 GIS 的数据。GEOBIA 信息处理的对象是地球遥感数据,依赖于遥感科学的理论与方法,它在遥感图像与 GIS 之间建立关键桥接。虽然有关 OBIA 命名的争论仍在持续(如 Blaschke et al., 2001; Blaschke, 2010),但为方便行文中术语的使用,本书认为两种表达方式是一致的。本书也不纠结于中文翻译“基于对象”、“面向对象”和“面向地理对象”等用词之间的差异,也不严格区分“像元”和“像素”、“影像”和“图像”等,尊重相关文献中两者原有的表达和行文简捷。

面向地理对象的遥感影像分析理论中的一些概念随技术发展而更新。早期遥感图像多尺度分割的结果(Baatz et al., 2000)被称为不规则碎片形(Fractal);后来一些文献中

将分割结果称为图斑 (Parcel/Patch)、图像区域 (Region/Segment) 等; 当认识到多尺度分析中的分割结果与人们对土地覆盖与土地利用中研究中概念有差异 (Burnett and Blaschke, 2003) 时, 开始将这些分割结果称为图像候选对象 (Object Candidate); 为此 Lang 等 (2007) 在地理信息科学领域对 GEON (Geographic Objects or Units) 这个概念进行了重新定义, GEON 是包括地理信息和基本单元的组合。一般而言, 图像对象 (Image-Object) 则是目前普遍接受的作为分割结果的一般化名词 (eCognition, 2010; Blaschke et al., 2008), 是图像多尺度分割后形成的, 特定尺度下树形结构表达的地表对象。Chen 等 (2006, 2009) 进一步将那些理想的分割结果称为有意义的图像对象 (Meaningful Image-object)。

遥感信息处理技术的发展, 总是随着我们对事物认识的深入而发展。Blaschke 和 Strobl (2001) 提出了一个挑战性的问题——“像素出了什么问题”, 认为基于图像像素的影像分析方法越来越不能满足高分辨率遥感影像应用的要求。尽管这不是该领域首次评论 (Cracknell, 1998), 却进一步激发了学术界研究“超”像素的兴趣。以地物 H 在低分辨率、中等分辨率和高分辨率影像中的表现为例, 地物 H 在低分辨率影像中不足一个像素 (图 1.1 (a)); 在中等分辨率影像中占据一个半像素 (图 1.1 (b)); 而在高分辨率影像中需多个像素表达 (图 1.1 (c))。根据奈奎斯特—香农采样定理 (Nyquist-Shannon Sampling Theorem), 通常像素大小须保证等于或小于地物对象的 1/10, 才能准确表达地物对象 (如位置、朝向等)。示例中, 图 1.1 (a)、(b) 的分析以像素或亚像素为单元是合适的, 而图 1.1 (c) 的分析应以区域为单元。因此, 图像分割产生图像对象是高空间分辨率遥感影像分析的前提和关键。

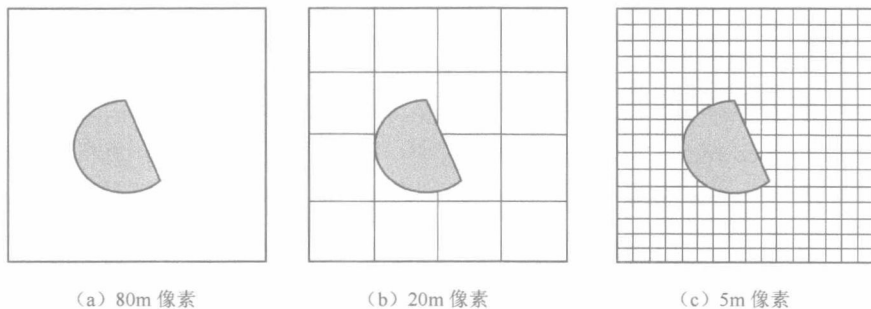


图 1.1 地物大小与空间分辨率

1.1.2 技术背景与历程

在遥感领域较早使用面向对象技术的是 Kerrig 和 Landgebe (1976), 他们提出了一种 ECHO 分类器 (Extraction and Classification for Homogeneous Objects), 该方法认为中心像元的概率密度函数是与其相邻像元相关的, 它利用邻域像元的同质性来提取上下文特征, 取同质性最大的类别作为中心像元的识别结果。Kettig 和 Landgrebe 同时也指出这项技术考虑的是比像素更大的处理单元, 因此无法在当时以 TM 和 SPOT 为主流数据的中分辨率遥感时代进行广泛的测试和应用。一般认为, GEOBIA 的迅速发展始于 eCognition 软件 (Baatz and Schäpe, 2000; Benz et al., 2004), 该软件曾改名为“Definiens”

(Lang and Tiede, 2007)。GEOBIA 早期的先行者们使用“object oriented”(Blaschke et al., 2000; Blaschke and Hay, 2001), 后来大部分作者习惯于改用“object-based”。这是由于“object oriented”与面向对象的程序规范极其相近, 所以多数人更倾向于使用术语“object-based”(Hay and Castilla, 2008)。众多研究人员已认可 GEOBIA 方法能够克服高空间分辨率遥感影像处理中常见的“椒盐效应”(Blaschke et al., 2000), 研究案例表明图像分割技术的最新发展使得面向对象方法能高效应用于遥感数据的土地覆盖分类(Duveiller et al., 2008)。面向地理对象的遥感影像分析处理技术逐渐显示出它是一种优于传统的基于像素的影像分析方法(Gamanya et al., 2009)。

自 2006 年开始, 两年一届的世界 GEOBIA 国际会议迄今已经召开五届: GEOBIA2006(Salzburg, Austria)、GEOBIA2008(Calgary, Canada)、GEOBIA2010(Ghent, Belgium)、GEOBIA2012(Rio de Janeiro, Brazil)和 GEOBIA2014(Thessaloniki, Greece)。2006 年 6 月, 首届面向地理对象影像分析国际会议在奥地利萨尔茨堡大学(University of Salzburg)召开, 该届与会论文可以参考国际摄影测量与遥感国际组织期刊的论文集(见 www.isprs.org/proceedings/XXXVI/4-C42/)。两年后, 第二届面向地理对象影像分析国际会议在加拿大卡尔加里大学(Calgary University)举行(会议网址: www.ucalgary.ca/geobia/), 会后出版了面向对象影像分析领域的论文集 *Object-Based Image Analysis-Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications* (Springer 出版社, 2008 年, 817 页)。2010 年第三届面向地理对象影像分析国际会议在比利时根特大学(Ghent University)举行(会议网址: geobia.ugent.be/2010)。第四届国际会议于 2012 年在巴西里约热内卢天主教大学(Pontificia Universidade Catolica)举行(会议网址: www.inpe.br/geobia2012/index.php)。2014 年 5 月, 第五届世界 GEOBIA 国际会议“GEOBIA 2014”在希腊塞萨洛尼基(Thessaloniki)举行(会议网址: geobia2014.web.auth.gr/geobia14/)。预期最新一届国际会议“GEOBIA 2016”将于 2016 年 9 月在荷兰 University of Twente 举行。此外, 该领域的一些学术会议还包括 2007 年 6 月于美国 Berkeley 举行的主题为“Object-based Geographic Information Extraction”, 2009 年于英国 Nottingham 举行的主题为“Object-based Landscape Analysis”等会议。

许多学者已经对 GEOBIA 方法与高空间分辨率影像的人类解译行为进行了比较分析(Shackelford and Davis, 2003; Ivits et al., 2005)。奥地利 Salzburg 大学教授 T. Blaschke (2010) 通过对 820 多篇文章中 GEOBIA 技术的详细分析, 综述了面向对象影像分析的发展历程, 内容覆盖 GEOBIA 的多个方向, 包括尺度概念、GEOBIA 分割、GEOBIA 信息提取、GEOBIA 变化监测以及 GEOBIA 精度评定等方面。目前 GEOBIA 领域前沿性研究也正在不断拓展, 自 2004/2005 年开始, GEOBIA 应用得到了更为广泛的发展。现在越来越多 GEOBIA 文献及应用的最终目标不再仅仅局限于建立好的分割算法, 而是聚焦在整合与开发地理信息智能化方面, 例如如何有效集成多源地理环境信息等。为此, 需要综合考虑所有的地理环境信息, 面向地理对象的遥感影像分析处理可以作为人类解译/理解遥感影像重要的半自动/自动途径, 成为人们准确获取地学信息的高效方式(Neubert et al., 2008)。

Blaschke 等学者(2014)认为, 面向地理对象的遥感影像分析方法已开始进化成为一种新的遥感影像分析“范式”。“范式(Paradigm)”是美国著名科学哲学家托马斯·库

恩 (Thomas S. Kuhn) 最早提出来的, 是指“特定的科学共同体从事某一类科学活动所必须遵循的公认的‘模式’, 它包括共有的世界观、基本理论、范例、方法、手段、标准等与科学研究有关的所有东西。”自 1972 年 Landsat-1 开始真正意义上的遥感以来, 围绕“像素 (Pixel)”的影像处理方法一直是遥感工作者的主流处理方法。然而, 在过去的 20 多年间, 作为遥感信息获取的主要手段——遥感影像分类方法, 已经脱离了以像素为核心的技术框架。Weng (2009) 归纳了现有的主流分类方法, 其中基于像素 (per-pixel) 的分类方法 17 类, 亚像素 (sub-pixel) 方法 7 类, 图斑相关 (per-field) 方法 6 类, 上下文相关 (contextual based) 方法 13 类, 基于知识 (knowledge based) 的方法 6 类, 混合分类 (combinational approaches) 方法 14 类。显然, 基于像素的影像分析方法在地学信息处理领域面临诸多挑战, 如对象、形状、纹理、上下文及模式、语义与知识集成。而面向对象的影像分析方法更加遵循人类认知世界的感知方式, 以图像分割为基础, 但又不仅仅限于此, 能自然地将影像中的像素融入到上下文信息中, 结合面向对象的数据模型、地理信息分析手段以多尺度、多层次的方式处理数据, 同时又易于结合本体论、语义网络等知识表达途径。因此, 面向地理对象的图像分析方式必然成为一种新的影像分析“范式”。

1.1.3 GEOBIA 思想与特色

当前高分辨率对地观测的若干前沿科学问题主要集中在高分辨遥感影像的精确处理、遥感影像理解与信息提取以及对地观测传感网与聚焦服务 (李德仁、童庆禧等, 2012)。其中遥感影像理解与信息提取又可进一步划分为面向对象的影像处理、多尺度影像处理和多层次影像场景认知等。在高空间分辨率遥感影像信息处理中, 图像分割及面向对象的思想十分重要 (宫鹏、黎夏等, 2006)。根据遥感图像分析中研究对象的不同, 把遥感图像的分析划分为以下 3 个层次 (Woods, 2006)。

① 全局层 以整幅影像或子图像为分析单元 (图 1.2 (a)), 服务于整体图像工程的需要。以图像或子图像为研究对象, 它们不寻求区分图像中的地学对象, 实际上它们只能用来组合全局图像特征。主要应用于遥感影像库的管理与检索、遥感影像的集成与制图等。

② 对象层 以图像中的区域为分析单元 (图 1.2 (b)), 区域即图像中连通的像素子集。从输入图像中检测感兴趣目标的符号表示 (如区域光谱特征、纹理特征、形状特征等), 通过对目标符号的分析来完成应用。它具备高层次的遥感图像分析模式, 而图像分割是整个过程的基础。

③ 像素层 以图像中的像元或以像元为中心的窗口为分析单元 (图 1.2 (c)), 它是一种低层次的遥感图像分析模式, 该模式下图像数据没有经过任何抽象和精炼。像素层遥感图像分析容易理解, 操作简单, 如传统遥感图像定量分析、分类、目标识别、变化检测等应用。

GEOBIA (或 OBIA) 定位于遥感图像分析层次中的对象层。更通俗的解释为, 在地学应用领域, 多源地学数据以面向对象的多尺度分析为基础, 结合上下文与专家知识的智能化分析处理技术。它是地学应用导向的, 它的数据源所表达的是地球的地表信息; 它是多源数据兼容的, 从遥感栅格数据到可用的 GIS 矢量数据; 它是面向对象的, 图像

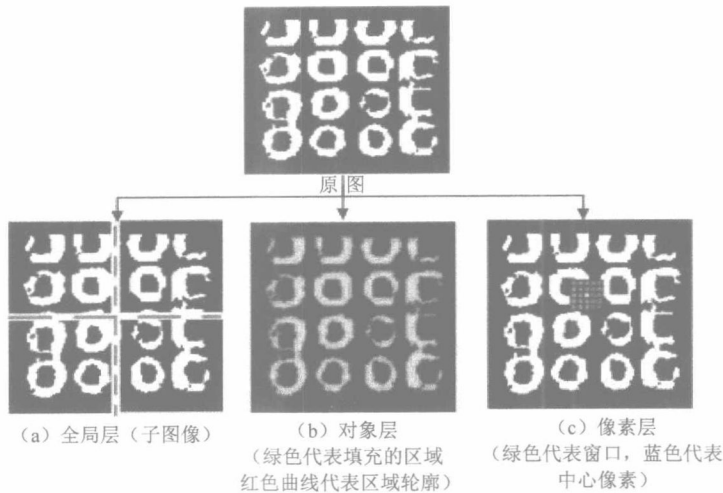


图 1.2 图像分析的 3 个层次

对象作为影像处理分析的最小单元, 而不再是像素; 它是多尺度的, 地表场景的影像数据中包含不同尺度的地表对象, 无论是形状或者是空间位置, 因而场景的理解需要影像的多尺度分析; 它是基于图像上下文信息的, 进而可以使用专家系统、领域知识解释以及为特定应用量身定制的分析功能。GEOBIA 工具需要构建在开放的 GIS 标准之上, 并提供与特定领域的用户和特定专业知识一致的工作机制, 将特定领域的专业知识集成到面向对象分析的语义网络。

面向地理对象的影像分析处理方法随着高分辨率遥感影像数据的广泛使用而迅速发展, 一些学者认为其原因在于该方法本身: ①能减小影像局部的光谱变化, 增强区域同质性, 减少椒盐效应; ②能减小地物类内方差, 增加特征空间的可区分度; ③模拟人类感知和观察目标的方式; ④能进一步提取影像的结构、形状等几何属性; ⑤矢量化的输出能更有效地与 GIS 系统结合。

一般认为 GEOBIA 的优越性表现 (Blaschke et al., 2008) 在以下 4 个方面。

(1) 图像分析方式和处理理念的进步: 与基于像素的分析方法相比, GEOBIA 的分析和处理方法更符合人类大脑思维和逻辑分析方式。通过执行不同尺度的分割和有效的信息提取步骤, 可以获取出各个图像对象的差异性特征, 如光谱特征、纹理特征、几何形状特征、空间关系特征等。凭借这些特征及其上下文语义关系, 进一步融合到后续各种影像分析 (如特征提取、模式识别等) 中。将遥感图像分割成不同尺度下的图像对象, 更符合人类概念化组织、理解遥感图像中地物对象与现象的思维过程。因而, 借助这种方法, 影像分析与处理过程能够模拟人类大脑, 更加“智能”地进行“思维”和“推理”活动, 从而在不同程度上改善了图像处理和分析的效果。

(2) 提高图像分析和处理效率: GEOBIA 分析方法首先将一幅遥感图像进行多次分割, 以一系列分割尺度将光谱、形状因子相关联的像素聚合形成对象图层。这样, 以对象为最小处理单元的数量相对于原先以像素为单元的原始影像将大为缩小, 后续的处理和分析都以这些对象展开, 这无疑会显著提高图像处理和分析的效率。此外, 这些“压缩”后生成的对象更方便存储在数据库中。将图像对象作为信息处理的基本单元, 有利

于降低诸如后续分类等遥感图像进一步处理的复杂性,同时有助于使用者应用更高层次的工具来分析数据。

(3) 挖掘影像潜力,提升影像空间分析功能: GEOBIA 方法能够引入额外的空间特征,如方向、距离和拓扑关系等,从而将地学领域的众多概念融入其中。当该分析方法应用于地理信息系统和遥感中,这些空间特征将使后续操作对遥感影像的空间分析变得容易,空间分析能力提升。图像对象一经产生就具备了许多增量信息(如自身的形状和纹理以及与其相关的对象上下文信息),这些图像对象中所蕴含的空间信息正是单个像素所缺乏的。

(4) 促成 GIS 和 RS 等多源数据整合和系统集成: 对于多源空间数据而言,影像区域之间的拓扑关系能够使这些不同来源的数据之间建立具体的局部联系,从而使多源数据的整合成为可能。事实上,正是由于不同数据之间的融合对于 GIS 和 RS 系统集成的重要性日益凸显, GEOBIA 的分析方法也更具意义。与传统基于像素的分类方法等像素层面上的数据处理而言,图像对象层次的信息处理更有利于与地理信息系统的矢量数据集成,这也是实际中遥感处理软件正在稳步推进的方向。

目前, GEOBIA 尚存在许多不足之处,主要表现为: 在“灵活性原则”指导下的一些商业软件,提供了过于复杂的选项,使得现有的图像对象层次的信息处理更耗时。在图像大数据组织和分割等信息处理中,高分辨率遥感影像的分割过程仍是一个令人生畏的任务。对于大数据量的图像分割而言,对现阶段计算时间与计算资源依然是一个挑战。实质上,“图像分割”是一种病态问题,并不能导致理想的单一结果。一方面仅仅改变对图像异质性的度量,就可以导致不同的分割结果;另一方面,人类自身的目视解译结果也往往得到完全不一样的对象勾划结果。在图像分割与地学应用之间,必然存在实际操作中的差异。例如,图像分割结果与地表对象之间存在的问题: ①分割结果并不意味着就是地学概念上的结构与功能单元; ②如何认知是否是好的分割结果; ③是否存在一致可接受的概念基础。

1.2 GEOBIA 发展与工具软件

面向地理对象的遥感影像分析处理技术是在 2000 年后逐渐形成的遥感科学和 GIS 科学领域里的一个崭新而重要的方向。由于数据分辨率提升与空间信息获取能力受限之间的矛盾, Markham 和 Townshend (1981) 就指出, 遥感分类精度主要受两个因素影响, 一是分类结果中类别边缘的像素, 即混合像元, 当遥感数据空间分辨率高时, 处于地物类别边缘的混合像元数量减少, 分类精度就会提高; 二是空间分辨率变高时, 同一类别内部的光谱响应差异增大, 使类别间的可分性降低, 从而导致分类精度降低。遥感数据分类精度变化取决于空间分辨率和遥感数据中地物目标大小之间的相对关系, 这就涉及遥感影像分析中的尺度问题。尺度和分辨率不同, 分辨率通常表达了一个像元覆盖区域的平均大小, 而尺度则描述了地物信息提取的空间维。面向对象的遥感影像分析处理技术还处于青年、发展阶段, 远远没达到成熟。回顾二十多年的历程, 它的出现是以下两个方面共同驱动的结果。

首先, 新一代高空间分辨率遥感卫星的发射对遥感图像的处理技术提出了新的要求。传统的像素级遥感图像处理方式已经远远不能满足高空间分辨率遥感数据的处理与

应用,难以满足基于图像上下文的空间分析的需要。商业高分辨率影像数据的轻松获取极大地促进了 GEOBIA 相关文章数量的增长(图 1.3)。在 IKONOS 卫星和 QuickBird 卫星成功发射之后的 1~2 年,即 2001/2002 年前后就出现了几十篇相关应用性文章。超高分辨率数字航空相机和 Lidar 数据的出现又加深了这一趋势。其原因在于存在不断增加的影像分析需求,即要从数亿像素数据中获得对 GIS 客观、适合的对象信息。

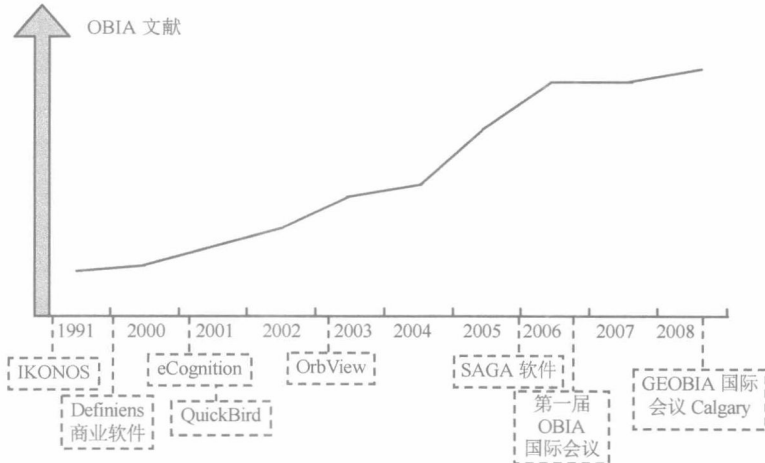


图 1.3 GEOBIA 的文献增长与发展历程 (Blaschke 2010)

其次,随着技术的发展,以利用遥感图像中的空间信息为目标的面向对象的图像处理方法得到了迅速发展,面向对象影像分析软件的成熟与广泛使用为地理空间对象分析提供了强大的工具支持,同时也把遥感图像处理和 GIS 联系起来,为图像处理和 GIS 架起了一座桥梁。在 1999~2000 年之间,商业软件包“eCognition”出现在各种会议上,并且在 2000 年成为第一家商业性面向对象的影像分析软件(Flanders et al., 2003; Benz et al., 2004)。eCognition 软件最初是建立在分形网络演化理论方法上的,后来发展为完全可程序化的工作流程(Baatz et al., 2008),就是今天我们所熟知的“Definiens”(Lang and Tiede, 2007)。Definiens 软件的成功应用也带动了其他软件的发展,例如 SAGA(Böhner et al., 2006)、Feature Analyst(Opitz and Blundell, 2008)以及最新的 ENVI Feature Extraction(Hölbling and Neubert, 2008)模块和 Erdas Imagine 9.3。此外,具有类似功能的软件也是在学术背景下发展起来的,其中一部分是免费发布或者开源的。例如 Wuest 和 Zhang(2009)运用了 Ojala 和 Pietikainen(1999)提出的 HSMR(逐级分裂合并细化)分割框架,可应用于遥感领域,Tilton(1998)的逐级分裂合并算法后来发展为实用的非商业性软件(Newbert et al., 2008)。一些大学与学术机构也推出公众应用的免费分割软件,如加州大学的 BerkleyImgseg(见 berkenviro.com/berkeley_imgseg/)和巴西的 InterImage(见 www.lvc.ele.puc-rio.br/projects/interimage/index.html)。SAGA(System for Automated Geoscientific Analyses)于 2005 年正式推出,以它们为代表的免费、开源地理信息软件为新算法的研究和应用提供了平台。

商业化软件的推出进一步促进了面向对象遥感影像分析处理技术的普及。全球第一个商业化的面向对象影像分析软件易康(eCognition)是直到 2000 年由德国 Definiens 公司开发问世的。Definiens 公司创始人是诺贝尔物理学奖获得者格尔德·宾宁博士/教

授（德语：Gerd Binnig，1947年7月20日—），德国物理学家，扫描隧道显微镜和原子力显微镜的发明者之一，1986年获得诺贝尔物理学奖。1994年，他组建了 Delphi Creative Technologies GmbH 公司，后改名 Definiens GmbH 有限责任公司，现在是 Definiens AG 股份公司（总部位于慕尼黑）。该公司旗下 Definiens Imaging GmbH 公司开发的影像分析软件 eCognition 在面向对象的图像分类领域获得了巨大成功。它是首个模拟人类大脑认知原理与计算机超级处理能力有机结合的产物，即融合计算机自动分类的速度和人工判读解译的精度。2009年11月2日，eCognition 8.0 系列软件产品在德国慕尼黑全球首发。2010年6月11日，Definiens 地理科学业务已与美国 Trimble 公司正式达成整合协议，Trimble 收购 Definiens 的地理科学所有相关业务。eCognition 为 Trimble 提供了世界一流的图像分析功能，为 Trimble 的地理空间产品和解决方案提供了补充。

eCognition 是目前所有商用遥感软件中第一个面向对象的遥感信息提取的智能化专业软件。它采用决策专家系统支持的模糊分类算法以及根据上下文语义的网络层次关系提取信息，突破了传统商业遥感软件单纯基于像素的光谱信息进行影像分类的局限性，提出了革命性的分类技术——面向对象的分类方法。该方法大大提高了不同空间分辨率数据的自动识别精度，有效地满足了地学领域科研和工程应用的需求。由于以单个像素为单元的常规信息提取技术过于着眼于局部而忽略了图像局部区域的几何结构特征，从而严重制约了信息提取的精度，eCognition 所采用的面向对象的信息提取方法，针对的是对象而不是传统意义上的像素，充分利用了对象信息（色调、形状、纹理、层次），类间信息（与邻近对象、子对象、父对象的相关特征）。在面向对象的信息提取方法探索中，eCognition 是目前研究最早、技术较为成熟、功能丰富、关注度和认可度高的商业化软件。在近十年的发展过程中，为业界领先的数据提供者、产品增值者以及可为遥感专家提供一种应用解决方案。

近年来，随着地理信息系统和影像分析技术的发展，一些专业遥感处理软件相继出现了面向对象的图像处理分析系统或模块（如 ERDAS IMAGINE Objective 和 ENVI Feature Extraction），也帮助了面向地理对象的图像分析走进了应用主流（Addink et al., 2012）。这些插件或独立运行的软件，可集成到 ArcGIS、RemoteView、ELT、ERDAS IMAGINE、SOCET SET、GeoMedia 等平台上加以应用，极大推动了面向地理对象遥感影像分析处理技术的实践与应用。如美国 ITT 公司基于面向对象分析技术，研发了特征提取模型，并集成到 ENVI 平台上应用。“面向对象空间特征提取模块——Feature Extraction”是面向对象、基于影像空间以及影像光谱特征，从高分辨率全色或者多光谱数据中提取信息。该模块可以提取各种特征地物（如车辆、建筑、道路、桥、河流、湖泊以及田地等），并且可以在操作过程中随时预览影像分割效果。在高空间分辨率遥感数据中，目标地物往往呈现为一个光谱或者纹理特性的感兴趣区域，因而基于对象的提取方法能更好地提取具有多种特征的地物。

Meinel 和 Neubert (2004) 对多个商业和自由软件的分割算法进行了比较，Srivastava (2013) 从完整性 (Completeness)、正确性 (Correctness)、质量 (Quality) 等 3 个方面比较了 ERDAS Imagine (USDA Forest Service 提供的 Segmentation Module)，ENVI 4.0 和 eCognition 4.0，对于利用全色的 IKONOS 数据检测建筑物而言，eCognition 的分割及目标检测能力要略强于 ERDAS Imagine 和 ENVI (表 1.1)。