

面向对象的高分辨率 遥感图像分析

● 朱俊杰 范湘涛 杜小平 著



科学出版社

面向对象的高分辨率遥感图像分析

朱俊杰 范湘涛 杜小平 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

作为一种创新性的图像分析理念,面向对象的图像分析是随着高分辨率遥感图像的获取和应用而逐渐形成的。本书阐述面向对象的图像分析的内涵、起源、发展和相关的理论,介绍获得图像对象的多种分割方法,探讨图像对象的多种特征及其计算,总结图像对象的分析方法,并在相关章节中指出目前存在的诸多困难,还给出面向对象的图像分析方法在分类、识别和变化检测方面的实际应用,最后指出其发展的趋势。

本书可供地学与信息科学领域中从事遥感、地理信息系统和地球信息科学的科研与技术人员参考使用,也可作为高等院校相关专业的教学参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

面向对象的高分辨率遥感图像分析/朱俊杰,范湘涛,杜小平著. —北京:科学出版社,2014.5

ISBN 978-7-03-040473-2

I. ①面… II. ①朱…②范…③杜… III. ①高分辨率-遥感图像-图像分析 IV. ①TP751

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 080284 号

责任编辑:彭胜潮 苗李莉 朱海燕 / 责任校对:张凤琴

责任印制:赵德静 / 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>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014年5月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2014年5月第一次印刷 印张:11 1/2 插页:4

字数:270 000

定价:69.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



前 言

2004年6月蟠桃上市的季节,本人去导师家请教问题,讨论期间,导师拿出 eCognition 软件的宣传册,上面有高分辨率遥感图像分类图,效果非常好,当时自信地认为高分辨率遥感图像分类达到这种效果很容易;因为并不知道面向对象是何物,就这样与面向对象的遥感图像分析擦肩而过。2005年本人到中国科学院电子学研究所做博士后工作,被安排在图像组,对 eCognition 软件有了初步的了解,按照 eCognition 软件的流程,进行相关的算法模仿,断断续续用了10个月进行数据结构设计和算法编写,做出了一个简单的小程序,当然这仅仅是一个原始的模仿而已,非常原始和粗糙,但是这样的模仿对本人是一个很大的挑战,因为从未设计过较为复杂的数据结构和单独开发过程序。通过这样的程序开发和文献学习,对面向对象有了一定的体会,发现其存在着很多需要研究和探讨的方面;在国家自然科学基金的支持下,对面向对象的图像分析进行了深入的研究,研究越深入,发现存在的问题越多,即面向对象的图像分析面对地学、图像分析和认知科学等领域中的诸多难题,需要探讨地学等众多学科所涉及的理论,如要解决图像处理领域中图像滤波与分割的难题,也要对人脑认知理论深入掌握。这些虽然不是面向对象图像分析本身的问题,但是它们制约了面向对象图像分析的发展和应用。尽管面向对象的图像分析面临诸多困难,但与基于像素的图像分析相比,它还是一种创新和进步,目前它已对相关领域的发展有了很大的促进作用,将来随着相关难题被一一攻克,面向对象的图像分析必将大大提高自动化和精确化的分析能力,从而促进相关领域的科研与应用。

面向对象的图像分析成为国内外研究的一个热点,但是目前还没有一本对其概念、起源、发展、算法、流程和面临的难题等作全面阐述的书籍,相关的科研人员只有查找众多的文献资料才能对面向对象的图像分析有全面的了解,这必然浪费宝贵的科研时间,本人对面向对象的图像分析有八年多的跟踪研究,对相关的知识有比较全面的掌握,尤其是对面向对象的图像分析存在的问题有着深刻的体会。本书将相关的知识和体会与大家分享,希望起到抛砖引玉的作用,促进面向对象图像分析的深入发展,从而进一步提高高分辨率遥感图像的分析水平,这是本书编写的初衷。全书共7章。第1章概述面向对象的图像分析的概念、发展历程和相关学科;第2章阐述遥感图像分割的相关方法;第3章分析多尺度分析与遥感图像多尺度分割;第4章介绍遥感图像对象的特征及相关算法;第5章介绍面向对象图像分析的相关方法;第6章列举面向对象的图像分析的一些实例,展示面向对象的图像分析的效果;第7章分析面向对象的图像分析的未来发展趋势,指出其发展的方向。

在撰写过程中,本书参考和引用了众多学者的研究成果,并对这些成果进行一定的加工整理,在此表示感谢。本书的完成得益于中国科学院电子学研究所第八研究室和中国科学院遥感与数字地球研究所数字地球重点实验室提供的良好学习和科研环境,在学习和科研过程中得到了诸多老师和同事的关怀与帮助,在此一并对这些科研机构、老师和同

事表示感谢。本书的出版得到了国家自然科学基金面上项目(41071274)和国家自然科学基金重点项目(61132006)的支持,它们的支持是本书得以出版的重要保障。

面向对象的图像分析涉及众多的学科,涵盖的内容非常广泛,有些概念本身也在相关的领域存在一定的争议,本人对这些知识的掌握非常有限,本书的内容多为近些年学习和思考的结果;有些描述是与同行探讨得出的共识,不一定完全正确,另外,本书撰写时间较短,其中的错误在所难免,恳请读者批评指正,共同推动高分辨率遥感图像分析的进步。下一步,本人会针对面向对象的图像分析存在的问题进行深入研究,力争在这个方向上有新的成绩和贡献。

朱俊杰

Email:jjzhu@ceode.ac.cn

2013年8月于中国科学院遥感与数字地球研究所

目 录

前言

第 1 章 面向对象的高分辨率遥感图像分析概述	1
1.1 对地观测的发展	1
1.2 高分辨率遥感图像的特点	2
1.3 遥感图像分析的含义	2
1.4 高分辨率遥感图像分析存在困难的原因	4
1.5 基于像素的图像分析	5
1.6 对象的概念	7
1.7 面向对象与基于对象的区别	9
1.8 面向对象的图像分析的相关理论与方法.....	10
1.9 面向对象图像分析的发展历程.....	16
1.10 面向对象的图像分析的软件与模块	19
1.11 面向对象的图像分析与基于像素的图像分析的关系	21
1.12 面向对象的图像分析的优点与不足	22
第 2 章 遥感图像分割	24
2.1 图像分割所依据的基本特征.....	24
2.2 基于三个基本特征的图像分割的不足.....	26
2.3 遥感图像分割方法的变化.....	29
2.4 典型的图像分割方法.....	35
2.5 融合边缘与光谱特征的图像分割.....	44
2.6 遥感图像分割方法的应用需求.....	49
第 3 章 多尺度分析与遥感图像多尺度分割	50
3.1 尺度的概念与内涵.....	50
3.2 尺度空间理论与图像的多尺度分析.....	51
3.3 地物的多尺度特征.....	54
3.4 地物的多尺度分析.....	56
3.5 图像多尺度分割.....	56
3.6 基于不同特征的图像多尺度分割方法.....	63
3.7 图像多尺度分割存在的问题.....	79
第 4 章 遥感图像特征、遥感图像对象特征及算法	81
4.1 特征、规则、模型、上下文和知识的内涵	81
4.2 特征图像.....	81
4.3 图像对象特征计算相关的算法.....	82

4.4	图像元数据	93
4.5	图像对象的特征	93
4.6	图像对象特征的选用与计算存在的问题	107
第5章	面向对象的遥感图像分析方法	108
5.1	分割对象的数据组织	108
5.2	模糊理论的概念与方法	111
5.3	最近邻分类法	116
5.4	基于产生式规则的知识表示	116
5.5	决策树分类法	118
5.6	模拟退火算法	120
5.7	面向对象的图像分析存在的问题	121
第6章	面向对象的遥感图像分析实例	123
6.1	单波段、单极化 SAR 图像分类	123
6.2	基于极化 SAR 后向散射特征的水体提取	130
6.3	基于 Paul 分解的极化 SAR 作物分类	135
6.4	基于 Freeman 分解的极化 SAR 建筑物检测	142
6.5	光学图像的建筑物提取	147
6.6	光学图像的变化检测	154
第7章	面向对象的遥感图像分析的未来发展趋势	158
7.1	探索新的图像多尺度分割方法	158
7.2	认知科学理论融入面向对象的图像分析	159
7.3	面向对象的图像分析与基于像素的图像分析相结合	160
7.4	面向对象的图像分析中遥感图像与其他数据相结合	160
7.5	面向对象的自动分析是需要探讨的一个发展方向	161
7.6	面向对象的图像分析有待向图像理解延伸	162
7.7	基于对象的图像分析转向面向对象的图像分析	162
参考文献		163
彩图		

第 1 章 面向对象的高分辨率遥感 图像分析概述

新的遥感图像分析理念和方法是随着遥感图像分辨率的提高和人类认知水平的提高而出现的。随着遥感图像分辨率的提高,以及相关学科的发展,在遥感图像信息提取方面,传统的图像分析方法弊端尽显,新的方法正是适应高分辨率图像分析的需求而被提出来。最开始的一些遥感图像分析方法主要是利用了地物的光谱特征,后来像素的空间特征受到了关注,一些方法将空间特征考虑进去,由于地物在高分辨率遥感图像中清晰可辨,这些图像能够表现地物的组成结构和空间关系,因此,以对象为基本单元的分析方法逐渐产生并被广泛研究。

过去的十多年里,面向对象的图像分析取得了很大的进展,随着面向对象图像分析的发展,目前它正在成为地理信息科学的子学科。但是面向对象的图像分析的基本概念、来龙去脉及优缺点等需要辨析和阐述,另外,面向对象的图像分析认为,对图像的认知是对空间结构的认知,而不是对单个像素的认知,可见面向对象的图像分析的发展与地学相关理论和认知理论关系非常密切,因此也需要对相关的学科进行一定的了解。

1.1 对地观测的发展

环境问题、灾害问题等全球变化影响人类的生存和发展,保护环境受到了全世界的关注,因此,欧美等国家或组织针对不同的目的,发射了多个对地观测系统。近些年,深空探测、临近空间遥感也受到了越来越多的关注。从对地观测系统的发展趋势上看,观测系统的发展趋势表现出“三高”(高空间分辨率、高光谱分辨率、高时间分辨率)和“三多”(多平台、多传感器、多角度)(周成虎和骆剑承,2009)。总之,多种观测平台、多种观测高度、多种观测方式、多种观测波段、多种分辨率的遥感观测系统的发展时代已经到来。这些系统的观测目的不同,传感器的分辨率也各不相同,其中的高分辨率对地观测系统已经达到了米级,受到了更多的关注。

高分辨率的遥感观测系统是全球竞相发展的高科技系统,其在军事、城市规划、现代农业、土地利用与国土调查、地理测绘、社会公共服务等领域有着极其重要的价值,对其进行研发已经变得非常迫切。发达国家与一些航天遥感科技公司都制订了高分辨率卫星发展与发射计划,中国也于 2013 年发射了高分一号对地观测卫星,一系列后续的高分辨率对地观测卫星必将进入研讨和开发之中。

1.2 高分辨率遥感图像的特点

高分辨率通常指的是高空间分辨率,分辨率的高低是一个相对的概念,以前提到高分辨率遥感图像往往意味着 5 米以上分辨率的遥感图像,现在一提到高分辨率图像就意味着 1 米左右或高于 1 米分辨率的遥感数据。高空间分辨率遥感图像与中低分辨率遥感图像相比,地物非常清晰,分辨能力更强,其有如下优点。

(1) 信息更加丰富。高分辨率遥感图像不仅能够反映地物的光谱特征,还反映了地物的结构组成特征、几何形状特征、纹理特征等,这些丰富的信息使我们能够更容易进行目视解译,目视解译结果更加正确。

(2) 光谱特征纯净。表示地物的纯像素增多,地物不以混合像素呈现,像素值是地物光谱特征的表现,理想情况下与周围地物的光谱特征不相关,如果消除大气影响和传感器噪声等干扰因素,地物像素值就基本是地物光谱的反映。

(3) 结构组成特征明晰。现实中的很多地物往往由多个部分组成,如建筑物具有屋顶和侧面组成,甚至一个建筑物由多个建筑物模块组合而成,这些鲜明的结构组成特征在高分辨率遥感图像中非常明晰。

(4) 纹理特征丰富。不同的地物具有各自鲜明的纹理,尤其是人工地物,其纹理表现出一定规则的、重复的花纹,这对识别地物非常有利。

(5) 形状特征鲜明。地物的外形轮廓非常清晰,几何形状非常鲜明,尤其是人工地物,其边缘能用简单的数学表达,其顶点多为常见的角度,如 90° 、 45° 、 30° 等。

(6) 高度特征显现。地物通常都具有一定的高度,而且高度是一个相对的值,其相邻的地物往往具有不同的高度,光学图像在光照情况下具有清晰的阴影,SAR 图像中具有鲜明的透视收缩、阴影和叠掩,这样的对比能够反映地物的高度特征。

(7) 功能特征隐含。地物的功能特征是其本质特征之一,中低分辨率遥感图像可以通过光谱特征直接解译地物的功能,而高分辨率遥感图像中的地物有时不能通过光谱特征进行精确识别,需要通过多种丰富的特征来解译,并进一步推理出地物的功能,也就是说地物的功能特征相对于其光谱特征来说是隐含的。

(8) 空间关系特征明确。中低分辨率遥感图像中地物的特征往往以波谱特征为主,波谱特征成为地物识别的主要依据。地物的空间关系特征实际上是一种上下文关系,它成为高空间分辨率遥感图像中地物识别的典型特征之一。空间关系特征表现为相邻对象之间的拓扑关系和距离关系,通过地物的空间关系特征分析就可以进行地物类型和相关信息的分析。

1.3 遥感图像分析的含义

遥感出现之后,“遥感图像判读”这一名词出现了,它含有对遥感图像分析的意思,之后又有了“遥感图像解译”这个概念,这两个概念的含义基本一致,只是稍微有些许区别,遥感图像解译的含义就是运用相关的知识和经验来分析遥感图像中地物的多种特征,进

而在遥感图像中获取地物的位置、大小、形状、分布和功能等必要的信息,并在底图上标绘。

图像分析和图像理解这两个概念是图像领域相关的概念。在一些文献中,能够见到“图像理解”和“图像分析”这两个概念,如《图像处理和分析》和《图像理解和计算机视觉》等。一些专家认为图像分析的含义是图像经必要的处理之后,通过图像分割、分类、识别、检测和量测等方法 and 手段分析图像中存在什么目标,并获得目标的相关参数,从图像中提取出存在的地物的相关信息。还有人认为图像分析和图像理解两者有一定程度的交叉,但不完全相同,图像分析的侧重点在于研究图像的内容,它采用图像处理技术对图像内容进行分析、解释,从而获得信息。通过众多专家对图像分析概念的阐述,可以将遥感图像分析定义为针对遥感图像,利用地物的多种典型特征,通过目视分析或计算机分析(包括分割、分类、检测、识别和量测等手段),提取遥感图像中的相关目标及其参数信息。

章毓晋(2001)认为图像理解作为图像工程的高层,其目的是在图像分析的基础上,结合人工智能和认知理论,进一步研究图像中各目标的性质和它们之间的相互联系,并理解图像内容的含义以及解释对应的客观场景,从而指导和规划行动。如果说图像分析主要是以观察者为中心的客观世界(主要是研究可观察到的事物),那么图像理解在一定程度上是以客观世界为中心,借助知识、经验等来把握整个客观世界(包括没有直接观察到的事物)。图像理解是研究用计算机系统解译图像,实现类似人眼系统理解外部世界的一门学科。还有人认为图像理解是一个总称,图像处理和图像识别的目的就在于对图像做描述和解释,以便最终理解它是什么图像,图像理解是在图像处理及图像识别的基础上,再根据分类进行结构句法分析,去描述图像和解释图像,因而,图像理解包括图像处理、图像识别和结构分析,图像理解属于人工智能的范畴。综合以上的观点,图像理解可定义为经过图像处理与图像分析之后,对图像进行归纳、概括、总结、推理和解释,对图像进行描述,并得出规律和发现知识等潜在的信息,图像理解是一种更高级的思维活动。

图像理解和图像分析的概念与内涵没有找到一个明确而严格的定义,多位学者对“图像处理”“图像分析”和“图像理解”这三个概念给出了相同或相近似的概念内涵和前后层次关系,如图 1.1 所示,这个关系图比较形象地描述了图像理解与图像分析等概念之间的关系。遥感图像分析与理解就是对遥感图像进行一定的分析和理解其中包含的更深层次的内容,并发现一定的知识,对于图像理解和图像分析的内涵,本书并不刻意讨论它们的差别,深入理解它们的含义可以参考相关的文献。

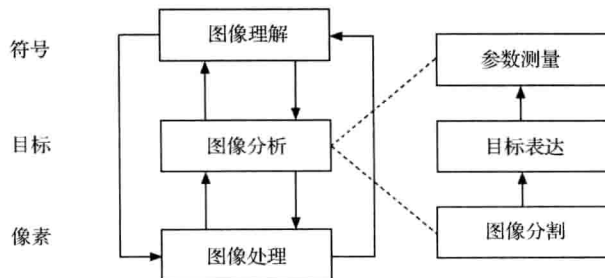


图 1.1 图像处理、图像分析和图像理解之间的关系(章毓晋,2001)

从各种文献的研究分析来看,用计算机来分析遥感图像,力求达到人眼的视觉与人脑的分析效果目前是难以做到的。目前,人眼的视觉和人脑对图像的分析能力是计算机对遥感图像分析能力的极限,因为人眼观察的是一个三维空间,人眼和人脑所获得并分析的信息是三维空间的信息,而计算机所处理的实际上是一个二维或2.5维空间的图像,在分析时,往往缺少一个维度,这也说明了计算机图像分析是一个挑战。虽然现在出现了获取深度数据的传感器设备,但是目前的图像分析和理解还是以像素作为主要分析单位。这种分析往往是建立在统计意义上的一种分析,虽然这种分析的思想有了多年的发展,因为难以利用空间特征等多种特征,这种方法面临其难以解决的问题。而面向对象的图像分析是最近发展起来的一种新的图像分析的理念,它能够利用光谱特征、空间特征和其他多种特征,是一种非常有希望的图像分析方法。

1.4 高分辨率遥感图像分析存在困难的原因

鉴于目前人类对认知科学没有透彻的掌握,相关的理论之间还存在矛盾,以至于Dobrowski等(2008)认为发展100%的全自动遥感信息提取方法是不可能的,而且实践研究已经证明了分辨率的提高不能带动分类精度的提高,这都说明了高分辨率遥感图像中自动提取到令人满意的信息是非常困难的,这有主观原因也有客观原因,表现在如下三个方面。

1. 遥感图像自身存在诸多不确定性

遥感图像自身存在诸多不确定性已经被国内外众多学者所公认,不确定性和含糊性是制约遥感图像分析的一个很严重的原因,遥感图像不确定性主要包括如下几个方面:

(1) 传感器带宽的有限性。传感器接收地物光谱信号时,传感器具有一定的带宽,传感器带宽不可能无限大,一些有用的信号必然被过滤。随着传感器带宽的增大,图像的分辨率增加,但是辐射分辨率和空间分辨率永远是有限的。

(2) 传感器的不确定性。传感器将测量值转换成图像数据,这个过程中就会引入噪声,从而降低了后续的图像处理与分析的不确定性。

(3) 辐射传输过程的不确定性。地物反射或散射的电磁波到达传感器这个过程中会受到大气中多种物质的影响,使得电磁波在强度、方向等方面发生一定的变化,这种变化必然使得地物光谱失真,大气环境的复杂性使得辐射传输过程中的影响难以完全消除。

(4) 混合像素的不确定性。即使分辨率再高,遥感图像中的混合像素也是永远不会消失的,不同地物组成的混合像素会出现光谱特征非常近似的情况,这就使后续图像分析产生了难以确定混合像素组分的问题。

2. 地物自身的复杂性

分辨率的提高对遥感图像的分析来说是一把双刃剑,虽然分辨率极大提高使得地物更加清晰,但是也使得信息量极大丰富,地物特征的复杂多样性更加明显。虽然目视解译高分辨率遥感图像能够提高地物提取的正确性和精确性,但是利用计算机进行自动遥感

图像解译没有任何提高,地物信息的复杂性表现在如下几个方面:

(1) 同物异谱。高分辨率遥感图像中的同种地物的光谱特征复杂多样,如同为建筑物,但是它们的外观色彩往往各不相同,所以其光谱也千差万别,这是遥感图像解译中最常见的一种情况。

(2) 同谱异物。在本质上,同谱异物是同物异谱在概念上的另一个说法,在高分辨率遥感图像中,尽管图像的量化深度达到 16bit 甚至更高,但依然存在同谱异物的情况。

(3) 同形异物。与中低分辨率遥感图像相比,高分辨率遥感图像中能够清晰地显示出地物的形状信息,形状信息成为地物的一大典型特征,但是在高分辨率遥感图像中,不同地物具有相同或相似的形状,如长方形地物包括操场、农田、鱼塘等,同样是长方形的农田,往往种植了不同的作物,这都是同形异物的表现。

(4) 同物异形。现实世界丰富多彩,同一类型的地物千姿百态,如建筑物的外形各不相同,没有一个统一的形状测度值。

(5) 同一种对象多种纹理。由于多种原因,地物的纹理是非常复杂的,往往没有规律可循,就是同一个地物,其不同部分的纹理也不一定相同。

(6) 同一地物多种结构组成。同一个地物往往由多个部分组成,尤其是人工地物,这些不同的组成部分有各自的特征,难以用某一个或几种特征简单地描述此地物。

3. 认知科学尚未成熟

有经验的遥感学家能够非常准确地对遥感图像判读、解译和分析,而计算机的运算能力再大也不能做到像人那样准确进行遥感图像分析,目前计算机人工智能相关的研究也只能在非常原始的层面上对人脑的认知和思维进行模拟,这种模拟非常简单、机械和原始。但是随着人类研究和实践的深入,对人脑认知行为的深刻理解会越来越深入,这些问题会一步步被解决。认知科学的不成熟主要表现在以下几个方面:

(1) 人类对人脑的认知机理没有全面理解。认知心理学是对人的认知进行研究的一门学科,从目前的研究可知人类对人脑认知机理的掌握还很肤浅,人脑认知运行机制还没有真正研究透彻,所以计算机图像分析的能力就不能像人脑那样高级。

(2) 计算机语言难以对人脑认知机理有很好地表达。知识表示和推理、专家系统等很难实现对人脑复杂认知行为的表达和描述,目前仅仅是一些简单的推理机制。

(3) 概念上的模糊性。地理学方面有些概念本身就难以量化,只能用定性的描述,如低的植被和高的植被,高低仅仅是一个比较,没有一个明确的划分值。

(4) 反演模型的含混性。有些模型是经验性模型,是通过统计分析得到的,统计分析必然存在不确定性。

(5) 特征空间的模棱两可。特征空间的阈值等数据往往是人为确定的,严格地讲,这本身就不具有严密的科学性。

1.5 基于像素的图像分析

基于像素(pixel-based)的图像分析是最原始、最朴素的图像分析方法,其在图像处理

方面有着广泛的研究和应用,目前其发展的比较成熟,在生产与生活各个方面都有其应用。遥感图像作为图像的一种,基于像素的图像分析是遥感图像分析最常用的一种思路。

1. 基于像素的遥感图像分析的发展

通俗地讲,以像素为最小分析单元的遥感图像分析就称为基于像素的遥感图像分析,这是一种最直观、最普通的图像分析方法。基于像素的图像分析建立在如下假设:不同地表由不同物质组成,这些物质能够用光谱测定方法来分析,因此,对待每一个像素作为一个自然样本,单个像素可以作为基本的分析单元。在没有出现图像对象这个概念之前的分析方法基本都可以称为基于像素的图像分析,如 K-均值聚类、ISODATA 聚类、Mean Shift 图像分割、Hough 变换等,这些方法的一个重要输入参数就是图像像素。

经历了几十年的发展,基于像素的遥感图像分析在方法上日趋增多,最初的一些方法能够分析图像像素的一个或多个特征,如光谱特征、纹理特征和边缘特征,而没有考虑像素之间的空间关系特征。但是由于空间上相邻以及传感器成像等因素,相邻像素之间具有一定的相关性。后来,一些专家认识到相邻像素之间的空间关系特征应该成为遥感图像分析所采用的重要特征,因此在地物提取过程中还可能利用马尔可夫随机场、纹理分析和遗传算法等将空间信息引入地物提取过程中,以提高提取的精度,因为能够很好地利用地物的光谱特征,同时也利用了像素之间的空间特征,这类方法对中低分辨率遥感图像能够得到更好的效果。再后来,遥感图像地物提取融入了一定的知识,这是基于像素的遥感图像地物提取方法的延伸和发展。地物提取过程中或提取后处理过程中增加以知识为根据的判断条件,这些知识通常是一些先验知识和结构信息:纹理信息、GIS 数据、地形数据等,如可以利用 InSAR 数据生成的高度信息来提取城市建筑物。因为有先验知识的参与,提取精度又有所提高,但是对高分辨率遥感图像仍然难以充分利用地物的多种特征,而且可利用的专家知识非常有限,所以提取精度难以获得突破性提高。

目前,传统基于像素的遥感图像地物提取方法依然被广泛应用于光学、红外和微波等各种分辨率的遥感图像上,且目前仍然是研究的热点。其原因在于基于像素的图像分析有自身的优点:快速、高效、简单和实用,但是其不足也是非常明显的。

2. 基于像素的遥感图像分析的不足

图像处理和分析是从以像素为单元进行研究的,它主要包括图像的变换、增强、恢复、校正和描述,以及多分辨分析等的图像处理内容。基于像素的图像分析在各个方面有着广泛的应用,如在工业、医学等方面发挥了巨大的作用。它在遥感领域也被广泛的研究,大量的方法纷纷出现,如图像分类的方法有最大似然分类法、最近距离分类法、神经网络分类法、模糊分类法、分层聚类法等。但是随着遥感领域的深入发展,尤其是高分辨率遥感图像的出现,人们对遥感图像信息提取的需求越来越高,而高分辨率遥感图像中的信息比中低分辨率的遥感图像有了极大的提高,这种图像中的地物信息表现得更加真实和复杂多变。因此,在遥感图像的分类、目标识别、变化检测等图像分析方面,基于像素的图像分析就表现得力不从心,很难达到一个令人满意的效果。总的来说,基于像素的图像分析是建立在统计模式下的,而不是空间模式下的,因此,基于像素的图像分析有其不足之处:

(1) 难以模拟人脑的思维。人脑是高度复杂的,它可以根据多种关系进行判断,不但根据目标本身的性质,它还可以根据时间、地点、环境等因素进行辅助分析。但是基于像素的图像分析很难对目标之间、目标与环境之间建立网络关联,所以基于像素的分析是一种简单的分析。

(2) 难以模拟人眼的视觉。人眼是一个高度发达的器官,它具有高度的调焦功能,也就是具有多尺度分析的功能,而且它的这种多尺度通常不是对整个景物,而是具有选择性的,基于像素的图像分析很难做到这一点。

(3) 难以建立对象网络拓扑关系。基于像素的图像分析由于是以单个像素为分析基础的,而图像反映的是客观世界中的对象,图像中的各个对象之间是存在空间上的拓扑关系的,这是基于像素的图像分析难以表达的。

(4) 鲁棒性比较差。基于像素的图像分析容易受噪声的影响,尤其对 SAR 图像,由于 SAR 图像中斑点比较强,在图像分类之后必须要做分类后处理工作,在检测和识别小目标时,因为斑点噪声的影响,往往会出现误检和漏检等情况。

(5) 难以表达目标的多种特征。由于地物具有多种特征,除了自身的光谱特征或散射特征、几何特征之外,还具有上下文特征、尺度特征等,这些特征在基于像素的图像分析中很难表达。

1.6 对象的概念

面向对象的图像分析是近十几年发展起来的一种新的遥感图像分析方法,它以图像对象作为最小分析单元,而不是图像像素作为分析最小单元,它实现了一种能够利用地物多种特征的图像分析方法。利用面向对象的图像分析理念实现的第一款遥感图像分析软件 eCognition 面世之后,相关的研究就成为遥感图像分析的一大热点,国内外众多的专家和学者对这种方法进行了广泛的探讨。

Castilla 认为基于对象的方法应用于景观制图方面有几个假设前提:第一,图像对象与景观对象一致;第二,辐射越相似,它们属于同一类地物的可能性越大;第三,某尺度层上小于一定阈值的对象可能不存在或者可以被忽略(Blaschke et al., 2008)。基于以上假设,它认为对象的概念为具有共同的结构和共同的行为的一个地物集合。这种假设有很大程度上的合理性,但是以上三个假设不一定总是成立:第一,图像对象与景观对象并不一定一致,尤其是对城市环境下的遥感图像中的图像对象与景观对象经常不一致,分割得到的对象并不一定与现实中的地物相对应,而可能是现实地物的组成部分,也就是地物的结构组成部分。第二,光谱特征相似的地物经常不是同一类对象,如同谱异物。第三,不同的地物的概率分布不同,阈值的设置很难适合所有的地物。虽然这种假设有一定的缺陷,分割的图像对象与实际地物对象是不同的,但是鉴于地理现象的复杂性,这种假设是具有很大进步的,具有一定的现实意义。

因为分割得到的图像对象与实际地物是不一定对应的,所以需要区别几个与对象相关的概念:图像对象、地理对象、富有地理含义的图像对象、集成对象和聚合对象。虽然图像对象和地理对象之间本质上存在着不同,这几个词表达了不同的含义,但是在平常的使

用中,这几个概念往往都采用“对象”一词来代替,不加以区别。下面分别描述这几个概念。

1. 地理对象

对象是离散的空间实体,它有多种与周围对象不同的自身特性,地理对象(geographic object 或 geo-object)被认为是在一定时期内能够被识别的有边界的地理区域,这个区域具有一定的地理含义。Blaschke 等(2008)通过分析给出了这样的定义:地理对象是位于地球表面且具有一定的面积的地物,如城市、森林、湖泊、山脉、农田和植被等,这些地物是在一定的时期内存在的、具有一定的边界的地理区域。从 Hay 给出的定义可以看出地理对象包括山脉、城市、湖泊、农田、建筑物、公园和工厂等,也就是说地理对象就是指各种地理要素。

然而,自然地物通常是连续变化的,地理对象之间没有明确的边缘,而是存在一个或缓或急的过渡区域,虽然这为地理对象的边界划分带来了一定的争议,但这不妨碍地理对象的存在,也就是说地理对象是客观存在的,是具有地理意义的。而人工地物之间通常具有明确的边界划分,而不存在边界上的争议,这样的地理对象是非常明确的。

2. 图像对象

Castilla(2004)定义图像对象为数字图像的一个不连续区域,它内部相关,而与周围环境不同。如果一个区域被确定为一个图像对象,那么这个区域必须具有 3 个特性:内部一致性、相关性和与外部区域的不连续性。内部一致性和与外部区域的不连续性很容易理解,相关性的理解要困难一点,如一个区域显示粗糙的纹理或显示一些几何模式,这个区域可能有很大的方差,但是因为纹理或模式是一致的,所以区域内部像素很相关,即相关性反映的是对象的空间特征,也就是说图像对象内部可以包含一些小的图像对象的子对象。图像对象与地理对象不同,图像对象不是独立的,而是与人的认知有关的,也就是说在某些情况下,图像对象不是实际的地理对象。这个概念体现了地理学第一定律,对象都具有相关性,但是最接近的对象往往是彼此相邻的对象。

由于成像等多种原因,图像对象之间存在一定的过渡,图像对象之间的边界不十分明确,这为图像处理和分析带来了一定的困难,甚至造成很大的麻烦。

3. 富有地理含义的图像对象

富有地理含义的图像对象(meaningful image-object)定义为当一个图像对象能被看成是对地理对象的正确描述时,那么这个图像对象就是有意义的图像对象(Blaschke et al., 2008)。图像分割时得到的分割对象与地理对象之间并不一定相对应,有时分割对象仅仅是地理对象的一部分,有时分割对象包含了多个地理对象,所以分割得到的图像对象不一定有意义,这就说明了图像对象和地理对象之间是有联系的,即图像对象仅仅是对地理对象的描述,这种描述只有在分割得到有意义的图像对象的情况下才是准确的描述。

4. 集成对象

集成对象定义为当一个区域内的若干个地理对象在空间上具有一定的距离和拓扑关系,不考虑这些的对象组成结构和尺度特征,将这些对象集成为一个有意义的地理要素,这样的对象称为集成对象。在遥感图像中,这样的对象往往指的是传统的、单一尺度的、基于像素的图像分割所得到的结果集合而成,在面向对象的图像分析中,也可以将分割对象集成在一起形成集成对象。

现实世界中的集成对象非常常见,如城市、公园等都是集成对象,由众多的建筑物、道路、树木、草地、河流和湖泊等要素组成的城市是一个非常典型的集成大对象,城市中的公园也是一个集成对象,其包含了树木、草地、建筑物和水体等地理对象。集成对象是一种常见的地理要素,是客观存在的复杂对象。

5. 聚合对象

聚合对象可以由多个结构组织部分组成,因为有些地理对象具有组织结构,即具有尺度特征,通过图像分割得到的图像对象仅仅是这种地理对象的某个组成部分,多个对象聚合在一起才是一个图像对象,这样的对象就称为聚合对象。

从遥感方面来说,图像对象是聚合对象,它具有内在的尺度,在结构上是由多个结构相连的部分组成,因此,这种多尺度分割得到的图像对象指的是聚合对象而不是集成对象,它是通过图像的多尺度分割所得到的结果。

1.7 面向对象与基于对象的区别

Baatz 是多尺度分割的创始人,发明了多尺度分割算法后,成立 Definiens Imaging 公司,著名的 eCognition 软件就是该公司开发的,面向对象的图像分析也是由 Baatz 提出的。Baatz 等(2008)认为基于对象的图像分析的结果是对对象正确分类和标记,而面向对象的图像分析还要对提取得到的结果进一步分析。

基于对象的图像分析(object-based image analysis,OBIA)也被称为基于地理对象的图像分析(geographic object-based image analysis,GEOBIA),它正逐渐成为地理信息科学的一个分支学科,这种图像分析是通过分析分割对象的空间、光谱和尺度等来估计对象的特征,将遥感图像划分成图像对象,分割对象是最小处理单元,这个处理单元不会发生改变。而面向对象的图像分析(object-oriented image analysis,OOIA)是对分割对象分析之后得到的结果再进一步分析,甚至再循环分割与确认的一个过程,这个过程中,分割对象是可以改变的,而且还可以嵌入基于像素的(pixel-based)方法再进行一定处理和分析。就基于对象的图像分析来说,多尺度分割得到的分割对象对分类结果有很大的影响;而面向对象的图像分析来讲,多尺度分割得到的分割对象对分类结果的影响比较小一些,因为最初的图像多尺度分割得到的分割对象仅仅是初始的数据,这些数据经过分析得到的对象仅仅作再分析的输入数据,之后再对这些对象进一步分割和分析等操作,最终得到理想的结果。也就是说,面向对象的图像分析具有反馈、修正和深入分析等功能,它比基于

对象的图像分析更加复杂和高级,而与最初的多尺度分割结果的相关度更小,是一种更符合认知理论的图像分析方法。另外,基于对象的图像分析与基于像素的图像分析是两种相互独立的图像分析方法,而面向对象的图像分析之中并不排斥基于像素的图像分析,它在处理过程中可以利用基于像素的图像分析方法来提高分析结果。

面向对象图像分析的工作流程分三步:第一步是图像分割;第二步是图像分析分类与评估;第三步是针对某个具体的类别进行精细化操作,如形状修复、融合和再分割等,也就是对存在的对象进一步处理,并再进行深入分析。其中的前两步是基于对象的图像分析,其流程如图 1.2 所示,这三步就是面向对象的图像分析,其流程如图 1.3 所示。

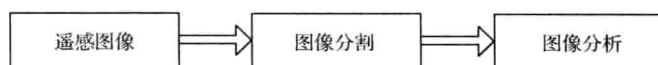


图 1.2 基于对象的图像分析流程

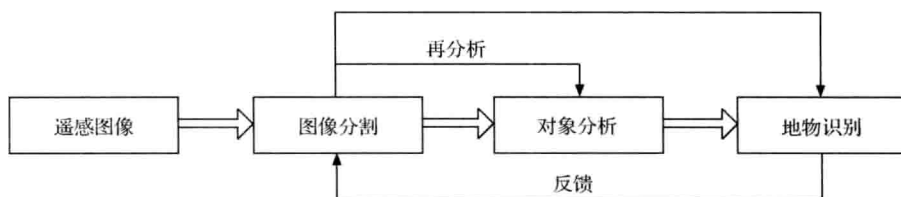


图 1.3 面向对象的图像分析流程

在平常的词语使用中,对“面向对象的图像分析”和“基于对象的图像分析”往往不加区别,一般都称为“面向对象的图像分析”。

其实,面向对象的图像分析和基于对象的图像分析一般都不做严格意义上的区分,对两者看做等同的,由于面向对象的图像分析中的“面向对象”与编程语言中的“面向对象”在用词上是一样的,为了加以区别,有不少学者更乐意采用“基于对象的图像分析”这一词汇(Blaschke, 2010)。

1.8 面向对象的图像分析的相关理论与方法

面向对象的遥感图像分析是应对高分辨率遥感图像而出现的,遥感图像是地理要素的直观反映,因为遥感图像分析要解决地理学中的相关问题,所以地理学的相关理论是面向对象的图像分析的理论基础之一。面向对象的图像分析所分析的最小单元为分割对象,而不是像素,它利用了对象的多种特征,而不同于光谱特征,结构特征、上下文特征等,这些特征是需要借助认知机理才能选定的,所以认知机理为面向对象的图像分析的重要理论之一。面向对象的遥感图像分析是利用计算机代替人对图像进行信息的提取,因此,人工智能和模式识别这两门计算机学科算法对面向对象的图像分析具有重要的意义。这里仅仅对相关的内容进行简单地阐述,没有进行深入地讨论,感兴趣可以查阅相关的文献进行研究。