



INTELLIGENT
PROCESSING OF
SPATIAL INFORMATION

空间信息 智能处理

张飞舟 刘典 / 编著



学出版社
UNIVERSITY PRESS



INTELLIGENT
PROCESSING OF
SPATIAL INFORMATION

空间信息 智能处理

张飞舟 刘典 / 编著



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

空间信息智能处理 / 张飞舟, 刘典编著. —北京: 北京大学出版社, 2019. 11
ISBN 978-7-301-29984-5

I. ①空… II. ①张… ①刘… III. ①空间信息技术 IV. ①P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 239578 号

书 名 空间信息智能处理
KONGJIAN XINXI ZHINENG CHULI
著作责任者 张飞舟 刘典 编著
责任编辑 王剑飞
标准书号 ISBN 978-7-301- 29984-5
出版发行 北京大学出版社
地 址 北京市海淀区成府路 205 号 100871
网 址 <http://www.pup.cn> 新浪微博: @北京大学出版社
电子信箱 zpup@pup.cn
电 话 邮购部 010-62752015 发行部 010-62750672 编辑部 010-62765014
印 刷 者 河北滦县鑫华书刊印刷厂
经 销 者 新华书店
730 毫米×980 毫米 16 开本 21.25 印张 12 彩插 450 千字
2019 年 11 月第 1 版 2019 年 11 月第 1 次印刷
定 价 80.00 元

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有, 侵权必究
举报电话: 010-62752024 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn
图书如有印装质量问题, 请与出版部联系, 电话: 010-62756370
此为试读, 需要完整版PDF请访问: www.ertongbook.com

内 容 简 介

空间信息智能处理是在信息科学和空间信息技术发展的支持下,以地球表层系统为研究对象,以地球系统科学、信息论、控制论、系统论和人工智能的基本理论为指导,运用多空间信息技术和数字信息技术,来获取、存储、处理、分析、显示、表达和传输反映空间分布特征、具有时空尺度概念和空间定位含义的空间信息,以研究和揭示地球表层系统各组成部分之间的相互作用、时空特征和变化规律,为全球变化和区域可持续发展研究服务。

本书介绍了空间认知理论以及地球空间信息科学相关背景知识;从人工智能时代空间信息智能处理的必要性、重要性和紧迫性出发,全面阐述了模式识别、专家系统、模糊理论、人工神经网络、优化算法、多源空间信息融合、大数据等多项技术理论基础,详细探讨了已有技术在空间信息智能处理中的典型应用实例。

本书可作为高等院校遥感、地理信息科学等相关专业空间信息智能处理课程的教材或教学参考书,也可供计算机、自动化、人工智能、智慧城市等专业的高校师生以及技术或管理人员参考使用,还可用于职业培训。

前 言

随着传感网、天地一体化监测网络以及遥感和对地观测技术的蓬勃发展,人类获取和处理地球空间信息的能力达到了空前水平.随着多平台、多传感器、多分辨率、多波段和多时相的遥感数据呈指数级增长,全球导航卫星系统(global navigation satellite system,GNSS)数据获取的速度和精度迅速提高,地理信息系统(geographic information system,GIS)非结构化数据越来越多、数据更新周期越来越短,空间信息(spatial information)朝着体量大、类型杂、时效强和价值高的大数据特征发展,传统的空间信息处理方法已不再适应于大数据时代需求.遥感图像分类,GNSS定位结算和高程拟合,矢量数据存储、管理与分析等常规任务在准度、精度、效率上对空间信息处理提出了更高的要求,遥感图像计算机解译与自动分析、GNSS自动定位与导航,GIS自动建模与数据挖掘等新型工作更是对空间信息处理提出了智能化的要求.由此,发展日益成熟的人工智能技术与空间信息科学的结合势在必行,空间信息智能处理已迫在眉睫.

空间信息智能处理涉及的学科和技术众多,既包括地球空间信息科学、遥感科学、地理信息科学、测绘科学,也包括计算机科学、人工智能、物联网,甚至还包括图像处理、控制论、大数据等内容.空间信息基础设施已逐步完备,高分遥感卫星、小卫星、北斗系统、数字城市等的建设,产生了海量的空间信息;遗传算法、神经网络、模式识别、专家系统等智能算法的发展和改进,使得空间信息智能处理成为研究热点.毋庸置疑,空间信息智能处理和智慧地球、智慧城市的建设分不开,也和物联网、云计算、大数据等技术紧密相连——各类卫星、传感器、监测设备形成实时监测网络,地球本身信息以及地球表面人和事物的信息千变万化,而这些信息之中80%都与空间位置有关,故而智慧地球依托于空间信息及其更新,从而实现更透彻的感知和更全面的互联互通;物联网将万物互联,各种设备、事物、人员之间的信息在其中穿梭不停;云计算和大数据等技术则为大体量数据的处理和分析提供了解决方案.在空间信息获取与采集,空间信息存储与管理,空间信息处理和分析等一体化信息系统中,空间信息智能处理起着提高获取和采集效率,优化存储和管理方案,增强处理和分析能力的作用.

笔者已在2010年编著的《物联网技术导论》^①和2012年编著的《物联网应

^① 张飞舟,杨东凯,陈智.物联网技术导论.北京:电子工业出版社,2010.

用与解决方案》^①两书中就物联网技术基础和应用方案进行了详细阐述,并于2015年编著的《智慧城市及其解决方案》^②一书中详细论述了智慧城市相关技术、解决方案和应用实例。笔者在完成智慧城市总体框架设计、关键技术分析以及典型应用案例等基础上,从空间信息科学如何在智慧城市建设中发挥主体作用的视角出发,完成了对智慧城市建设从整体到局部、从主干到细节的详细阐述。本书以总体与分布结构的形式,首先介绍空间认知和地理信息理论的背景知识,并详细给出地球空间信息科学的相关学科知识,论述空间信息智能处理的必要性和研究内容;然后分章论述模式识别、专家系统、模糊理论、人工神经网络、优化算法、空间信息智能融合和大数据的理论基础及其在空间信息智能处理中的典型应用,力争做到理论和实践相结合,以及图文并茂。为了更加清晰准确反映图像内容,书中部分需要彩色呈现的图表附在书后彩插中。

在撰写过程中,本书参考或引用了大量文献,其中大多数已在书中注明了出处,但难免有所疏漏。在此,向有关作者表示感谢,并对未能注明出处的资料原作者表示歉意。

本书由笔者与刘典主笔编写,参与部分编写工作的还有叶威惠和邹贵祥。在编写过程中,北京航空航天大学杨东凯教授就本书的组织结构和技术内容提供了许多宝贵意见,本书还得到了中国科学院遥感与数字地球研究所陈良富、张立福两位专家的支持和帮助,在此特向他们表示诚挚的谢意。

由于编著者水平有限,书中难免有错误和疏漏之处,恳请读者批评指正。

张飞舟

2018年8月

于燕园

^① 张飞舟,杨东凯. 物联网应用与解决方案. 北京:电子工业出版社,2012.

^② 张飞舟,杨东凯,张驰. 智慧城市及其解决方案. 北京:电子工业出版社,2015.

目 录

第一章 绪论	(1)
1.1 从地理空间到空间信息理论	(1)
1.2 地球空间信息获取	(7)
1.3 地球空间信息科学	(17)
1.4 地球空间信息科学理论基础与技术体系	(22)
1.5 地球空间信息科学存在的问题与发展趋势	(36)
1.6 地球空间信息智能处理	(43)
1.7 空间信息智能处理方法	(48)
讨论与思考题	(64)
参考文献	(65)
第二章 模式识别与空间信息智能处理	(70)
2.1 模式识别的基本概念	(70)
2.2 统计模式识别	(75)
2.3 结构模式识别	(82)
2.4 模糊模式识别	(83)
2.5 神经网络模式识别	(86)
2.6 基于模式识别的塘沽盐场遥感图像识别方法	(89)
讨论与思考题	(95)
参考文献	(96)
第三章 专家系统与空间信息智能处理	(98)
3.1 专家系统定义与类型	(98)
3.2 专家系统的特点与结构	(102)
3.3 专家系统的构建与评价	(104)
3.4 现代专家系统	(107)
3.5 专家系统在空间信息智能处理中的应用	(112)
讨论与思考题	(122)
参考文献	(122)
第四章 模糊理论与空间信息智能处理	(125)
4.1 模糊数学基础	(125)
4.2 模糊关系与模糊逻辑推理	(132)

4.3 模糊理论在遥感图像分类中的应用	(140)
4.4 模糊理论在遥感图像分割中的应用	(147)
4.5 模糊理论在遥感图像增强中的应用	(155)
4.6 模糊理论在遥感图像变化检测中的应用	(158)
讨论与思考题	(164)
参考文献	(164)
第五章 神经网络与空间信息智能处理	(167)
5.1 生物模型与人工模型	(167)
5.2 神经网络模型	(170)
5.3 神经网络在遥感中的应用	(194)
5.4 神经网络在 GIS 中的应用	(222)
5.5 神经网络在 GNSS 中的应用	(231)
讨论与思考题	(236)
参考文献	(236)
第六章 优化理论与空间信息智能处理	(241)
6.1 优化算法概述	(241)
6.2 遗传算法	(243)
6.3 模拟退火算法	(247)
6.4 禁忌搜索算法	(252)
6.5 混合遗传算法	(256)
6.6 群智能算法	(259)
6.7 基于 GA 的遥感数据最优波段组合选择方法	(263)
6.8 基于人工蚁群优化算法的遥感图像自动分类	(275)
6.9 粒子群优化算法在遥感图像处理中的应用	(282)
讨论与思考题	(290)
参考文献	(290)
第七章 空间信息智能融合	(292)
7.1 4G 地学空间数据融合	(292)
7.2 多源地学信息综合处理	(300)
7.3 遥感信息融合	(304)
7.4 GIS 空间信息融合	(323)
讨论与思考题	(328)
参考文献	(329)

第一章 绪 论

1.1 从地理空间到空间信息理论

1.1.1 地理系统

地理系统是指某一个特定时间和特定空间的,由两个或两个以上相互区别又相互联系、相互制约的地理要素或过程所组成的,具有特定功能和行为,与外界环境相互作用,并能够自动调节和具有自组织(self-organization)功能的整体.地理系统是一种宏观范围的时空有序结构,其自组织功能表现为在地理系统形成和发展的整体过程中,经历着混沌(chaos)、平衡、演变等不同的阶段.地理系统的自组织是指系统在无外界强迫(制)条件下,自发形成的有序调节自身功能的行为.地理系统及其各子系统(如河流、湖泊子系统,森林、草原子系统)都具有自组织功能,例如沙漠中的灌木和高山岩石裂缝中的树木等,都是地理系统自组织行为的结果.

地理系统形成之初呈混沌状态.研究地理系统混沌状态的理论称为地理系统的混沌理论,这是地理系统自组织的起点.所谓混沌,又称“混乱”“紊乱”“无规划”等,是研究事物在初始阶段如何进行自组织的理论.自然和社会领域到处都存在着杂乱无章的事物、飘忽不定的状态和极不规则的行为.但是,在这些无规则现象的深处又蕴藏着一种奇异的秩序.混沌不是简单的无序或混乱,而是没有明显的周期性和对称性,但却有丰富的内部层次性和有序性.研究地理系统混沌理论的目的就是从地理系统的紊乱中寻找规律,而自相似理论与分形分维原理是从紊乱中寻找规律的有效方法.自相似理论的核心思想是指自然或社会现象在统计意义上,总体形态的每一部分可以被看作是整体标度(指级别或观测数目等)减少的映射,不论形态多么复杂,其在统计或概率上的相似性是普遍存在的. Mandelbrot 认为,自然和社会现象复杂的几何形态,可用如式(1.1)所示的指数函数方式来表达:

$$D = \frac{\ln N(r)}{\ln r}, \quad (1.1)$$

式中, D 为分形(fractal)数; r 为长度(面积或体积); $N(r)$ 是以 r 作为尺度的观测数目.

分形是复杂形态的一种参数量,只有具有自相似性结构的形体,才能进行分形研究.分维(dimension)是指一个几何形体的维数等于确定其中任意一个点的位置所需要的独立坐标的数目,可分为拓扑维和分数维.拓扑维指一个几何图形中的任意相邻点,只要它们是连续的,无论通过怎样拉伸、压缩、扭曲变成各种形态,相邻点的关系都不会改变;它是拓扑变换的不变量.拓扑维定义为

$$d = \frac{\ln N(r)}{\ln(1/r)}, \quad (1.2)$$

而分数维则定义为

$$d_0 = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\ln N(r)}{\ln(1/r)}. \quad (1.3)$$

地理系统发展过程中,自组织功能行为的结果表现为地理系统的平衡状态.描述这种平衡状态的有地理系统协同论、人与自然相互作用理论、人地系统理论、整体性(geospatial entirety)与分异性(geospatial differentiation)理论、地带性规律、地理空间结构与空间结构功能的区位理论等.

按照协同论的观点,地理系统的各要素或各子系统之间既存在着相互联系、相互依存、相互协作的一面,又存在着相互制约、相互排斥、相互竞争的一面,即既有协同性,又有制约性,这是普遍规律.例如,如果地形发生了明显变化,则首先是气候随着变化;如果气候改变了,则植物也会随着改变.地理系统协同论的重要思想是系统中各要素或子系统功能相加具有非线性特性,整体功能的效果可能大于各部分功能之和,也可能小于各部分功能之和,这由系统的结构或系统的有序程度来决定,其中序参量对整个系统起着控制作用.气候与地形是农、林、牧等系统的序参量,可耕地资源与淡水资源是西北地区农业系统的序参量.序参量和系统配合得好,效果就好;反之,亦然.

在人与自然相互作用理论、人地系统理论方面,历史上曾有过环境决定论、人定胜天论、人与环境协调理论等,但最完备、最科学的还是现在的可持续发展理论.可持续发展理论的核心是资源、环境、社会和经济的协调发展,而地球的资源 and 环境的容量又是有限的.人们对地球或自然界的索取,不能超过地球的承载力;人们对资源和环境的利用,必须遵循客观规律.经济和社会的发展,既要满足当代人的需要,又不能影响后代人的需求,也就是不能以对资源和环境的破坏为代价来换取社会经济的增长.

地理系统的整体性与分异性理论、地带性规律是地理系统宏观的、普遍的规律.地理系统是整体性与分异性的统一.地理空间的整体性是指任何地理系统或区域系统都是“人类-自然环境综合体”,也是资源、环境、经济和社会的综合体;地理空间的分异性或地带性是指由于地球表层物质和能量分布的不均匀性所造成的地理空间的分异特征,例如海陆分布、地形高低、岩石组成、温度和降

水的差异,矿产资源、土地资源、淡水资源、生物资源的差异,以及人口、社会和经济的差异.这种差异性表现出明显的地带性规律,如地理空间气温、降水的纬度地带性和经度地带性,植被、地貌类型的垂直地带性等等.

地理空间结构与空间结构功能具有区位特征.地理空间结构(geospatial structure)是指在一特定的空间范围或区域内,资源、环境、经济和社会等诸要素的组合关系或耦合关系,及同一空间范围内的资源、环境、经济和社会等的配套关系.地理空间结构功能(geospatial structure function)是指区域所具有的经济和社会发展潜力的大小,或可持续发展能力的大小.具有最佳地理空间结构的地区,一定具有最强的地理空间结构功能.即使某个空间范围的地理空间结构有好有坏,功能有强有弱,也不能说明局部情况存在有差别;这完全取决于局部条件,这就是区位.也就是说,在空间结构好的区域内,可能存在着局部相对较差的;在空间结构差的区域内,也可能存在着局部相对较好的.在空间结构功能强的区域内,可能存在着局部功能相对较弱的;在空间结构功能弱的区域内,也可能存在着局部功能较强的.地理空间区位理论可以用于军事地理空间结构分析与运用.

地理系统的平衡状态是相对的、变化中的平衡.地理系统变化的主要方式是渐变与突变,渐变到一定程度就会发生突变.这时,地理系统的自组织功能已不能发挥作用,因此地理系统的突变是自组织的终点.地理系统的突变理论(catastrophe theory)是研究系统状态随外界控制参数连续改变而发生的不连续变化的理论,即在条件的转折点(临界点)附近,控制参数的任何微小变化都会引起系统发生突变,且突变都发生在系统结构不稳定的地方.最典型的地理系统的突变现象是地震、火山爆发、生物种群的突变等.

1.1.2 地理空间认知

认知是一个人认识和感知世界时所经历的各个过程的总称,包括感受、发现、识别、想象、判断、记忆以及学习等.奈瑟尔(Neisser)把认知定义为“感觉输入被转换、简化、加工、存贮、发现和利用诸过程”,因此认知就是“信息获取、存贮转换、分析和利用的过程”,简言之就是“信息的处理过程”.

空间认知是有关空间关系的视觉信息的加工过程,由一系列心理变化组成;人们通过此过程获取日常空间环境中有关位置和现象属性的信息(包括方向、距离、位置和组织等),对其进行编码、储存、记忆和解码.空间认知涉及一系列空间问题的解决,如行进中测定位置、察觉街道系统、找路、选择指路信息、定向等.

地理空间认知是研究人们怎样认识自己赖以生存的环境(主要指地球的岩石圈、水圈、大气圈、生物圈等四大圈层)及其相互关系,包括其中的诸事物、现

象的相互位置、空间分布、依存关系及其变化和规律;也是指在日常生活中,人类如何逐步理解地理空间,进行地理分析和决策,包括地理信息的知觉、编码、存储、记忆和解码等一系列心理过程.地理空间认知的研究内容包括地理事物在地理空间中的位置和地理事物本身性质.作为认知科学与地理科学的交叉学科,地理空间认知需对认知科学研究成果进行基于地理空间相关问题的优化研究.与认知科学研究相对应,地理认知研究主要包括地理知觉、地理表象、地理概念化、地理知识的心理表征和地理空间推理,涉及地理知识的获取、存储和使用.

地理空间认知包括感知过程、表象过程、记忆过程和思维过程等基本过程.地理空间认知的感知过程是研究地理实体或地图图形(刺激物)作用于人的视觉感觉器官,产生对地理空间的感觉和知觉的过程.地理空间认知的表象过程是研究在知觉基础上产生表象的过程,通过回忆、联想,使其在知觉基础上产生的映像再现出来.地理空间认知的记忆过程是人的大脑对过去经验中发生过的地理空间环境的反映,可分为感觉记忆、短时记忆、长时记忆、动态记忆和联想记忆.其中,感觉记忆是指视觉器官感应到刺激时所引起的短暂(一般按几分之一秒计)记忆;短时记忆是指感觉记忆中经过注意而能保存到 20 s 以下的记忆;长时记忆是指保持时间在 1 min 以上的信息存储;动态记忆是指随着现实世界客观事物的不断变化人的大脑动态地组织记忆,空间信息系统中各种灵活多样的信息查询功能以及信息的增加、删除、修改功能就是计算机模拟人脑动态记忆过程的最好例证;联想记忆是指通过与其他知识的联系进行的记忆.地理空间认知的思维过程是地理空间认知的高级阶段,并提供关于现实世界客观事物的本质特性和空间关系的知识,在地理空间认知过程中实现着从现象到本质的转化,具有概括性和间接性.

20 世纪 50 年代初,信息科学的问世,给出一个很重要的启示:人脑就是一个加工系统,人们对外界的知觉、记忆、思维等一系列认知过程,可以看成是对信息的产生、接收和传递的过程.计算机和人脑两者的物质结构大不一样,但计算机所表现出的功能和人的认知过程却是如此的类同,即两者的工作原理是一致的,都是输入信息、进行编码、存储记忆以及输出结果的信息加工系统.

之所以强调“空间”这一概念,是因为可以认知的对象是多维的、多时相的,它们存在于地理空间之中.地理空间认知通常是通过描述地理环境的地图或图像来进行的,这就是所谓“地图空间认知”.地图空间认知中的两个重要概念是认知制图(cognitive mapping)和心像地图(mental map).认知制图可以发生在地图的空间行为过程中,也可以发生在地图使用过程中.所谓空间行为,是指人们把原先已经知道的(长期记忆)和新近获取的信息结合起来后的决策过程的结果.具体的地图空间行为有利用地图进行定向(导向)、环境觉察和环境记忆

等. 空间信息系统(或地理信息系统)的功能表明,人的认知制图能力是能够用计算机模拟的,当然这只是一种功能模拟,模拟结果的正确程度完全取决于模拟模型和输入数据是否客观地、正确地反映现实系统. 心像地图是不呈现在眼前的地理空间环境的一种心理表征,是在过去对同一地理空间环境多次感知的基础上形成的,是间接的和概括的,具有不完整性、变形性、差异性(当然也有相似性)和动态交互性. 心像地图可以通过实地考察、阅读文字材料、使用地图等方式来建立.

美国地理信息与分析国家中心(National Center for Geographic Information and Analysis, NCGIA)在1995年发表的“Advancing Geographic Information Science”(高级地理信息科学)报告中,提出地理信息科学的战略领域有三个,其中之一为地理空间的认知模型(cognitive models of geographic space). 美国地理信息科学大学研究会(University Consortium for Geographic Information Science)于1996年发表的“Research Priorities for Geographic Information Science”(地理信息科学的优先研究领域)报告中,也把地理信息的认知(cognition of geographic information)列为第二个重点问题. 由此可见,地理空间认知理论已成为地球空间信息科学公认的基础理论,也是空间信息系统或地理信息系统公认的基础理论.

1.1.3 空间信息理论

空间信息(spatial information)是反映地理实体空间位置和空间分布特征的信息. 地理学通过空间信息的获取、感知、加工、分析和综合,揭示区域空间分布、变化的规律. 空间信息借助于空间信息载体(图像和地图)进行传递. 图形是表示空间信息的主要形式,地理实体可被描述为点、线、面等基本图形元素. 空间信息只有和属性信息、时间信息结合起来,才能完整地描述地理实体. 地理数据是指表征地理圈或地理环境固有要素或物质的数量、质量、分布特征、联系和规律的数字、文字、图形和图像等的总称. 地理信息是有关地理实体的性质、特征、运动状态的表征及其相关知识,以及对地理数据的解释,是地理数据所蕴含和表达的地理含义. 地理信息区别于常规定义的空间信息,即地理信息是空间信息和属性信息的结合. 地理信息理论(geographic information theory, GIT)是地理科学理论与信息科学理论相结合的产物,主要研究地理信息熵、地理信息流、地理空间场、地理实体电磁波以及地理信息关联等方面.

地理信息熵(geographic information entropy, GIE)是用来度量地理信息载体的信息能量,即地理信息载体的信息与噪声(noise)之比,简称信噪比,是评价地理信息载体质量的标准. 香农(C. E. Shannon)以熵作为信息载体的平均信息量的度量,而维纳(R. Winer)认为信息就是负熵.

设有 N 个概率事件发生, 每个事件发生的概率为 $p_i, i=1, 2, \dots, N$, 于是信息熵为

$$H = -K \sum_{i=1}^N p_i \ln p_i. \quad (1.4)$$

地理信息流(geographic information flow, GIF)产生的根源是物质和能量在空间分布上存在着的不均衡现象, 其依附于物质流和能量流而存在, 也是物质流和能量流的性质、特征和状态的表征及知识. 地理信息流是地理系统的纽带, 有了地理信息流, 地理系统才能运转. 空间信息系统(或地理信息系统)就是研究由于地理物质和能量的空间分布不均衡性所造成的物质流和能量流的性质、特征和状态的表征及知识, 研究地理信息流的时空特征、地理信息传输机理及其不确定性与可预见性.

地理空间场理论(theory of geographic spatial field, TGSF), 即地理能量场信息理论, 是指对于不同的地理实体, 其物质成分可能不同, 这样就可以形成不同的地理空间或地理空间场. 不同地理实体的地理空间, 对人类具有不同的吸引力, 也可能形成某些特殊的地理空间或地理空间场; 不同的地理空间或地理空间场具有不同的物理参数量, 也就具有不同的能量信息的空间分布特征. 空间信息系统中经常要研究的重点地区或重点目标, 就是这里所说的特殊地理空间或地理空间场.

地理实体的电磁波能量信息理论是作为空间信息系统主要信息源的遥感信息的基础理论. 遥感信息是指运用传感器从空间(或一定距离), 通过对目标物电磁波能量特征的探测与分析, 获得目标物的性质、特征和状态的电磁波信号的表征及有关知识. 大量事实证明: 任何物质都具有反射外来电磁波的特征; 任何物体都具有吸收外来电磁波的特征; 某些物体对特定波长的电磁波具有透射特征; 任何地理实体因其物质成分、物质结构、表面形状及特征的不同, 都具有不同的电磁波辐射特征; 任何同一属性或同一类型的地理实体因其物质成分和物质结构存在一定的变幅, 其电磁波辐射数值也存在一定的变幅. 由于同一类型的电磁波辐射值存在一定的变幅, 因此地物波谱是一个具有一定宽度的带, 部分波谱带还存在重叠, 这些都是遥感信息形成的基础理论.

地理信息关联性理论是从事物间的联系、依存和制约的普遍性原则出发, 研究地理信息间的内在联系和机理, 把握庞杂、瞬变信息之间的相互关系, 发挥地理信息综合集成的优势, 更全面、客观、及时地认识世界, 以此作为指导可持续发展研究中的模拟、评估和预测, 以及指导高水平的地理信息共享的基础理论. 地理信息关联的体系可以用“维”来描述: 首先, 人是自然和社会的中心, 可以作为地理信息关联体系的原点; 自从有了人就存在人地关系, 这就可以划分出人类系统和自然环境两维, 它们涵盖和贯穿着整个人地关系; 人的能动性是

决定人类社会发展方向的重要因素,因此能动维作为地理信息关联体系的第三维.无论自然环境维、人类系统维和能动维都是在时间和空间中相互联系和发展变化的,因而构成了地理系统的三维模式;而人类系统的能动性作为第一维,时间和空间分别作为第二维、第三维,则构成地理信息关联的三维模式.地理信息关联性理论对于空间信息系统的信息获取、组织、分析、综合、模拟、评估、预测,以及地理信息融合、信息共享等都具有重要的指导作用.

1.2 地球空间信息获取

1.2.1 遥感技术

地球表面地物目标空间信息获取主要由遥感平台(platform for remote sensing)、遥感器(remote sensor)等协同完成.遥感平台是安放遥感仪器的载体,包括气球、飞机、人造卫星、航天飞机以及遥感铁塔等.遥感器是接收与记录地表物体辐射、反射与散射信息的仪器.目前,常用的遥感器包括遥感摄影机、光机扫描仪、推帚式扫描仪、成像光谱仪和成像雷达.按其特点,遥感器可分为摄影、扫描、雷达等几种类型.

1. 遥感平台

遥感平台是指安装放置遥感传感器的飞行器,是用于安置各种遥感仪器,使其从一定高度或距离对地面目标进行探测,并为其提供技术保障和工作条件的运载工具,是遥感中“遥”字的体现者.现代遥感平台有气球、飞机、人造地球卫星和载人航天器等.对地观测的遥感平台应能提供稳定的对地定向,并对平台飞行高度、速度等有特定的要求.此外,遥感平台还应提供遥感器合适的环境,如振动和抖动小、电磁干扰小、温度在合适的范围等.高精度、高分辨率的遥感器对平台更有严格的要求,如平台姿态控制和安装精度的要求等.对于像雷达类型的遥感器,遥感平台还需提供安装天线、较大的电源功率等条件.对于像热红外光谱段的遥感器,遥感平台还需要提供能满足遥感器所需的工作温度(致冷)条件,如在卫星上提供安装辐射致冷器或其他致冷器.

遥感平台根据遥感目的、对象、技术特点(如观测的高度或距离、范围、周期,遥感平台的寿命和运行方式等)及载体的不同大体可分为近地遥感平台、航空遥感平台、航天遥感平台三种类型.

(1) 近地遥感平台,如固定的遥感塔、可移动的遥感车、舰船等,通常指遥感器搭载的遥感平台距离地面高度在 800 m 以下,包括系留气球(500~800 m)、牵引滑翔机和无线遥控飞机遥感(50~500 m)、遥感铁塔(30~400 m)、遥感吊车(5~50 m)、地面遥感测量车等遥感平台.

(2) 航空遥感平台(空中平台),如各种固定翼和旋翼式飞机、系留气球、自由气球、探空火箭等,通常指遥感器搭载的遥感平台为航空器。它包括距离地面高度小于 1 km 的航空摄影测量,2~20 km 中空飞机遥感、20 km 以上的高空飞机遥感。

(3) 航天遥感平台(空间平台),如各种不同高度的人造地球卫星、载人或不载人的宇宙飞船、空间站和航天飞机等,即其遥感器搭载的遥感平台为航天器。这些具有不同技术性能、工作方式和经济效益的遥感平台,组成一个多层、立体化的现代化遥感信息获取系统,为完成专题的或综合的、区域的或全球的、静态的或动态的各种遥感活动提供技术保证。其中,航天飞机和天空实验室轨道高度在 240~350 km,军事侦察卫星在 150~300 km,陆地卫星或地球观测卫星轨道高度在 700~900 km,其获取的地面图像分辨率为 1~80 m 不等,地球静止卫星的轨道高度在 36×10^3 km 左右,其获取的卫星影像的地面分辨率偏低。

选择遥感平台的主要依据是遥感图像空间分辨率。通常,近地遥感平台的地面分辨率高,而观测范围小;航空遥感平台的地面分辨率中等,其观测范围较广;航天遥感平台的地面分辨率低,但覆盖范围广。

2. 遥感平台与遥感影像关系

遥感平台与遥感影像的关系主要表现在以下几个方面:

(1) 平台的运行高度影响着遥感影像的空间分辨率;

(2) 获取同一地区影像的周期称为遥感影像的时间分辨率,平台的运行周期决定着遥感影像的时间分辨率;

(3) 平台的运行时刻(或卫星星下点的地方时)决定着探测区域的太阳高度,从而间接决定着遥感影像的色调及阴影;

(4) 平台运行稳定状况决定着所获取遥感影像的质量;

(5) 特殊的遥感任务对遥感平台有特殊的要求。

一般遥感卫星的轨道面倾角约为 90° ,为近极轨卫星。轨道面倾角的大小决定了卫星可能飞越地面的覆盖范围,例如 Landsat 的轨道面倾角为 99° ,地面覆盖范围为 $81^\circ\text{S} \sim 81^\circ\text{N}$ (南纬 81° 到北纬 81°)。

遥感卫星通常都采用太阳同步轨道。所谓太阳同步轨道,是指卫星轨道面与太阳地球连线之间的夹角不随着地球绕太阳公转而改变。太阳同步轨道可以使卫星通过任意纬度时平均地方时保持不变,从而使卫星能够在太阳光照角基本相同的条件下对地观测,这样给遥感资料的处理带来很大方便,比如能够方便遥感图像的色调对比等。

3. 遥感器基本组成与特征

遥感器通常是由收集单元、探测单元、信号转换单元、记录或通信单元等四

部分组成。

(1) 收集单元. 遥感应用技术是建立在地物的电磁波谱特性基础之上的, 而实现把来自地面的电磁波收集起来功能的单元即为收集单元. 不同的遥感器有不同的收集单元, 如透镜、反射镜和天线等. 对于多波段遥感, 收集单元还包括按波段分波束的元件, 通常采用各种散光器件, 如滤光片、棱镜、光栅等。

(2) 探测单元. 遥感器中最重要的部分就是探测单元, 是真正接收地物电磁辐射的器件, 它把探测到的混合光电磁波分解为不同波段光谱并将其转换成其他形式信号的功能单元. 常用的探测元件有感光胶片、光电敏感元件、固体敏感元件和波导等。

(3) 信号转换单元. 除了摄影照相机中的感光胶片, 从光辐射输入到光信号记录, 无须信号转换之外, 其他遥感器都有信号转换问题, 光电敏感元件、固体敏感元件和波导等输出的都是电信号, 从电信号转换到光信号必须有一个信号转换系统, 该转换系统可以直接进行电光转换, 也可进行间接转换, 先记录在磁带上, 经磁带由电光转换输出光信号。

(4) 记录或通信单元. 遥感器的最终目的是要把接收到的各种电磁波信息, 用适当的方式输出, 输出必须有一定的记录单元. 记录单元是将探测到的电磁波信息用适当的介质记录下来, 记录的介质包括胶片、磁带和磁盘等. 通信单元是将探测到的电磁波信息传输到异地接收装置的功能单元。

4. 遥感器特性与遥感参数

遥感器收集与记录的是地球表面观测目标的反射、辐射能量, 因此遥感器的特性决定着遥感构像的特征. 以扫描成像类型的遥感器为例, 遥感器的特性影响着遥感构像。

(1) 空间分辨率

遥感器探测阵列单元的尺寸决定了遥感构像的空间分辨率. 在使用扫描仪探测地面目标时, 载着地物分布信息和属性信息的电磁波, 通过大气层进入遥感器, 借此遥感器内部的探测单元阵列对地物分布进行成像. 此时, 如果遥感器中探测阵列能把两个目标作为两个清晰的实体记录下来, 则这两目标间的最小距离就是图像空间分辨率, 它可以用图像视觉清晰度来衡量。

(2) 辐射分辨率

遥感器探测元件的辐射灵敏度和有效量化级决定了遥感构像的辐射分辨率. 辐射分辨率是指遥感器探测元件在接收电磁辐射信号时能分辨的最小辐射度差. 探测分光后的电磁波并把它转换成电信号的元件称为探测元件, 其作用是实现光电变换并在这种变换的过程中完成信息的传递。

(3) 波谱分辨率

波谱分辨率是指遥感器在接收目标辐射的波谱时能分辨的最小波长间隔。