



全国高校地理信息科学教学丛书



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

遥感数字图像处理教程

(第二版)

韦玉春 汤国安 汪 闽 杨 昕 等 编著



科学出版社



全国高校地理信息科学教学丛书
普通高等教育“十一五”国家级规划教材

遥感数字图像处理教程

(第二版)

韦玉春 汤国安 汪 闽 杨 昕等 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书面向地理学发展和地理信息科学教学需要,阐述了遥感数字图像处理的概念和主要方法,覆盖了光学遥感数字图像处理的主要内容。全书以图像的获取和存储、图像数字表示和描述、图像显示、图像校正、图像变换、滤波、图像分割、分类和遥感信息提取为主线,相关知识前后衔接清楚;各章节按“理论—基础—方法—应用”描述明确,便于理解和学习。

本书可作为遥感、地理、环境、测绘、土地、海洋、农业、地矿、水利、信息等学科的本科生和研究生教材,也可供资源环境、遥感和地理信息系统、计算机等领域研究人员和技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

遥感数字图像处理教程/韦玉春等编著.—2版.—北京:科学出版社,2014.11

(全国高校地理信息科学教学丛书)

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-03-042282-8

I. ①遥… II. ①韦… III. ①遥感图像-数字图像处理-高等学校-教材
IV. ①TP751.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第248190号

责任编辑:杨红/责任校对:张小霞

责任印制:霍兵/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>

新科印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007年12月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2015年2月第 二 版 印张:20 1/2

2015年2月第十二次印刷 字数:486 000

定价:45.00元(含光盘)

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《全国高校地理信息科学教学丛书》

编委会名单

顾 问 (以姓氏汉语拼音为序)

高 俊 龚健雅 郭华东 何建邦 李德仁 李小文
宁津生 孙九林 童庆禧 王家耀 叶嘉安 周成虎

主 编 汤国安

副主编 李满春 刘耀林

编 委 (以姓氏汉语拼音为序)

常庆瑞 陈崇成 陈健飞 陈晓玲 程朋根 党安荣
董有福 冯仲科 宫辉力 郭增长 胡宝清 华一新
孔云峰 赖格英 黎 夏 李 虎 李 霖 李满春
李小娟 李志林 梁顺林 林 琿 刘慧平 刘仁义
刘湘南 刘小平 刘耀林 刘 勇 刘 瑜 柳 林
闫国年 秦其明 邱新法 沙晋明 史文中 宋小冬
孙 群 汤国安 汤 海 田永中 童小华 王 春
王结臣 邬 伦 吴立新 徐建华 许捍卫 阎广建
杨必胜 杨存建 杨 昆 杨勤科 杨胜天 杨武年
杨 昕 杨永国 游 雄 张洪岩 张 锦 张军海
张 勤 张新长 赵 军 周 立 周启鸣 朱阿兴

丛书序

古往今来，人类所有活动几乎都与地理位置息息相关。随着科学技术的快速发展与普及，地理信息科学与技术以及在此基础上发展起来的“数字地球”、“智慧城市”等，在人们的生产和生活中发挥着越来越重要的作用。

近年来，我国地理信息科学高等教育蓬勃发展，为我国地理信息产业的发展提供了重要的理论、技术和人才保证。目前，我国已有近 200 所高校开设地理信息科学专业，专业人才培养模式也开始从“重理论、轻实践”向“理论与实践并重”转变。然而，现有的地理信息科学专业教材建设，一方面滞后于专业人才培养的实际需求，另一方面，也跟不上地理信息技术飞速发展的步伐。同时，新技术带来的教学方式和学生学习方式的变化，也要求现有教材体系及配套资源做出适应性或引领性变革。在此背景下，科学出版社与中国地理信息产业协会教育与科普工作委员会共同组织策划了《全国高校地理信息科学教学丛书》。该丛书从学科建设出发，邀请海内外地理信息科学领域著名学者组成编委会，并由编委会推荐知名专家或从事一线教学的教授担任各分册主编。在编撰中注重教材的科学性、系统性、新颖性与可读性的有机结合，强调对学生基本理论、基本技能与创新能力的培养。丛书还同步启动配套的数字化教学与学习资源建设，希望借助新技术手段为地理信息科学专业师生提供方便快捷的教学与实习途径。相信该丛书的出版，会大大提升该专业领域本科教材质量，优化辅助教学资源，对提高理论与实践并重的专业人才培养质量起到积极的引领作用。

我相信，在丛书编委会及全体编撰人员的共同努力下，《全国高校地理信息科学教学丛书》一定会促进我国新一代地理信息科学创新人才的培养，从而为我国地理信息科学及相关专业的发展做出重要的贡献。

中国科学院院士

中国工程院院士



丛书前言

地理信息，在经济全球化和信息技术快速发展的 21 世纪，已然在人类经济发展与社会生活中扮演重要角色。自 1992 年 Michael F. Goodchild 提出地理信息科学应当是一门独立的学科以来，在学界的共同努力下，已经在空间数据采集与处理、地学数据挖掘与知识发现、空间分析与可信性评价、地学建模与地理过程模拟、协同 GIS 与可视化、地理信息服务、数字地球与智慧城市、虚拟地理环境、GIS 普及及高等教育等诸多研究方面取得了重要进展。与此同时，由于地理信息科学的概念以及研究背景、目标的复杂性，目前关于地理信息科学的核心理论框架体系，仍然存在不同的理解，需要广大学者深入探索与凝练。

在 2012 年教育部颁布的《普通高等学校本科专业目录(2012 年)》中，地理科学类专业中的“地理信息系统”更名为“地理信息科学”，标志着地理信息的高等教育进入一个崭新的发展阶段。随着我国各项事业及各相关部门信息化进程的加快，地理信息相关专业人才具有广泛的社会需求。地理信息科学专业人才应当具备坚实的地理学、测绘科学及现代信息技术基础知识、具有处理与分析地理信息的能力，能从事地理信息科学问题的研究与开发，能胜任包括城市规划、资源管理、环境监测与保护、灾害防治等领域的地理信息资源开发、利用与管理的工作。地理信息科学专业人才的培养，对于全面提升我国地理信息产业与地理信息科学发展水平具有极其重要的作用。

中国地理信息产业协会教育与科普工作委员会，多年来通过多种途径，积极推进我国地理信息高等教育水平提高，所组织的全国高校 GIS 教育研讨会、全国高校 GIS 青年教师教学技能培训与大赛、全国大学生 GIS 技能大赛、全国 GIS 博士生论坛等活动，都已经成为国内有影响的品牌活动。高校专业教材是本科教学的重要资料，近十年来，我国已出版多套有关地理信息系统的系列教材，在专业教学中发挥了十分重要的作用，其中，有科学出版社出版的《高等学校地理信息系统教学丛书》，在我国 GIS 教育界产生了重要影响。在此基础上，科学出版社、教育与科普工作委员会联合组织编撰的《全国高校地理信息科学教学丛书》，拟面对学科发展的新形势，系统梳理、总结与提炼以往的研究成果，编写出集科学性、时代性、实用性为一体的系列教材。

为保证本丛书顺利完成，在工作委员会及科学出版社的协调下，首先成立了由地理信息科学高等教育领域的知名学者组成的丛书编写委员会。其中，由

我国该领域院士及知名学者任顾问，对丛书进行方向性指导，各教材主要编写人员既有我国地理信息科学领域的知名专家，又有新涌现的优秀青年学者，他们对地理信息科学的教育教学有很强的责任心，对地理信息学科的发展与创新开展了广泛而深入的研究；他们在学术研究和教学工作中亦能紧密联系、广泛开展学术与教学的交流合作。

本丛书将集成当前国内外地理信息科学研究领域的主要理论与方法，以及编著者自身多年的研究成果，对今后相关研究工作有十分重要的参考价值。我们希望本丛书不仅适合于地理信息科学专业的在校学生使用，而且也可作为相关专业高校教师和研究人员和工作的参考书。本丛书的出版发行，盼能推动我国地理信息科学的科学研究与拓展应用，促进中国地理信息产业的发展。

国家级教学名师

中国地理信息产业协会教育与科普工作委员会主任

汤国安

2014年8月4日

前 言

随着对地观测技术的迅速发展，遥感图像在社会生活和经济建设中发挥着越来越重要的作用。遥感图像已不仅仅是科学研究和工程建设的基础数据，同时，伴随着 Google Earth 的使用，已经成为普通人生活的一部分。

遥感数字图像的处理，就是对遥感数字图像的计算机处理。与工业和医学数字图像不同，遥感数字图像类型更为多样，涵盖的内容和处理对象更为复杂。因此，遥感数字图像的处理，不仅需要掌握已有的数字图像处理方法，而且需要具有相应的地学知识，是科学和艺术的有机结合。

本教程面向大学本科教学，按照“基础知识—图像处理应用”来组织相关内容。教程分 10 章。

第 1 章主要介绍图像、遥感数字图像和遥感数字图像处理的基本概念、软硬件要求和特点。第 2 章重点介绍获取图像的遥感传感器特征、图像的数据格式和级别。第 3 章介绍遥感图像模型、图像表示方法、基本的统计特征和图像处理中需要掌握的基本概念。第 4 章主要介绍图像的显示和拉伸。第 5 章图像校正属于图像的预处理工作，其目的是校正成像过程中各种因素影响导致的图像失真。第 6 章和第 7 章是图像增强方法。第 8 章图像分割用于将图像划分为不同的区域或从背景中分割出感兴趣的地物目标并进行后处理，主要用于高空间分辨率图像。第 9 章介绍分类的基本原理、基本概念和常用的方法，对分类方法和存在的问题进行阐述和总结。第 10 章主要讲述遥感信息提取的方法，包括图像特征、高光谱分辨率、高空间分辨率图像的处理和变化检测。

需要说明的是，教程中的方法适用于多光谱、高光谱和高空间分辨率图像，主要的内容也可用于微波图像的处理。但是，考虑到微波图像成像原理的复杂性和预处理的复杂性，教程中没有包括微波图像处理的内容。

本教程第一版主要由韦玉春、汤国安、杨昕编写，汪闽负责编写了第十章中的高空间分辨率图像处理内容。教程第二版由韦玉春和汪闽进行修编，重点是修订第一版中错误，增加图像处理实例，完善基本概念的表达、定义和图像处理方法，统一不同章节中的文字表述。为了便于深入学习，增加了更多的参考论文。此外，考虑到篇幅问题，部分内容以 PDF 文件方式保存在本书所附的光盘中。

研究生袁兆杰、包玲、徐宁、张静、徐彬、彭礼红、杨大伟、单静、徐建军、徐谨等进行了基础材料和文字的整理工作，特此致谢。

遥感数字图像处理与其他学科相比显得非常年轻。如何将地学专业知识和图像处理原理和处理方法有机地结合起来进行更有效的图像处理，还需要做更多的工作。

本教程虽然在编写中参考了多种材料，但由于受学识水平以及遥感图像处理复杂性的限

制，难免会有不当之处，恳请读者不吝指教。

“爱课程”网站中的“遥感地学分析”课程提供了遥感图像处理应用实例和资料，读者可以参考使用。

另外，各章的思考题并不限于本书的内容，需要读者自行查阅相关资料来回答。

韦玉春

2014年7月

南京师范大学地理科学学院，仙林

wycnju@sina.com

目 录

丛书序

丛书前言

前言

第 1 章 概论	1
1.1 图像和遥感数字图像	1
1.2 遥感数字图像处理	2
1.3 数字图像处理的发展和两个观点	6
1.4 基本理论和知识要求	7
1.5 章节组织和内容安排	8
思考题	10
第 2 章 遥感数字图像的获取和存储	12
2.1 遥感图像的获取	12
2.2 遥感图像类型	25
2.3 遥感数字图像的级别和数据格式	26
2.4 遥感数据检索	32
2.5 图像的基本参数	34
2.6 本书图像数据说明	35
思考题	36
第 3 章 遥感数字图像的表达和度量	38
3.1 遥感图像模型	38
3.2 遥感图像的数字表示	41
3.3 单波段图像的统计特征	43
3.4 多波段图像的统计特征	51
3.5 图像的度量和计算	53
3.6 纹理	58
3.7 遥感数字图像处理的对象	62
思考题	62
第 4 章 图像显示和拉伸	64
4.1 数字图像的显示	64
4.2 图像的彩色合成	74
4.3 图像拉伸	82
思考题	91
第 5 章 图像校正	92
5.1 辐射传输	92
5.2 图像的辐射误差	100

5.3	系统辐射校正	102
5.4	传感器端的辐射校正	103
5.5	大气校正	106
5.6	地面辐射校正	110
5.7	辐射定标和验证	112
5.8	图像的几何误差	113
5.9	几何校正的主要内容	114
5.10	几何精纠正	115
	思考题	125
第 6 章	图像变换	126
6.1	傅里叶变换	126
6.2	波段运算	133
6.3	K-L 变换	138
6.4	缨帽变换	142
6.5	彩色变换	148
6.6	数字图像融合	153
	思考题	154
第 7 章	图像滤波	156
7.1	空间域滤波和频率域滤波	156
7.2	图像平滑	158
7.3	图像锐化	166
7.4	频率域滤波	177
7.5	同态滤波	181
	思考题	183
第 8 章	图像分割	185
8.1	图像分割方法和流程	185
8.2	灰度阈值法	187
8.3	梯度法	192
8.4	区域方法	196
8.5	数学形态学方法	200
8.6	区域标识	218
	思考题	220
第 9 章	遥感图像分类	222
9.1	基本原理和方法	222
9.2	像素间的相似性度量	224
9.3	图像分类的工作流程	225
9.4	非监督分类	230
9.5	监督分类	235
9.6	其他分类方法	242
9.7	专家系统分类方法	251

9.8	主要遥感图像分类方法总结	253
9.9	图像分类后处理	256
9.10	图像分类精度评估	257
9.11	遥感专题制图	261
9.12	提高分类精度的对策	262
	思考题	266
第 10 章	遥感信息提取	268
10.1	概述	268
10.2	图像特征	269
10.3	单一目标物的遥感信息提取	271
10.4	高光谱图像处理	272
10.5	高空间分辨率图像处理	284
10.6	面向对象的信息提取	299
10.7	变化检测	304
	思考题	306
	主要参考文献	308
附录 1	遥感数字图像处理的软件	313
附录 2	配书光盘内容说明	314

第1章 概 论

数字图像是以数字形式存储和表达的图像。遥感数字图像处理以物理学、地学、数学和计算机等知识为基础,处理方法的原理、工作流程以及不同方法的连接关系是图像处理的核心内容。

1.1 图像和遥感数字图像

1.1.1 图像和数字图像

依据冈萨雷斯(Gonzalez, 2005)的定义,图像是对客观对象的一种相似性的描述或写真,包含了被描述或写真对象的信息,是人们最主要的信息源。在英语词典中,有三个词与图像有关,即 picture、image 和 pattern。图像对应的英文词为 image,指通过镜头等设备得到的视觉形象,或“以某一技术手段再现于二维画面上的视觉信息”,通俗地说就是通过技术手段把目标进行再现后产生的形象,“是二维数据阵列的光学模拟”。

根据人眼视觉的可视性将图像分为可见图像和不可见图像。可见图像包括图片、照片、素描和油画等,以及用透镜、光栅和全息技术产生的各种光学图像。不可见图像包括不可见光学成像(如紫外线、红外线、微波成像)和不可见的测量值(如温度、压力、人口密度)的分布图。

图像具有空间坐标和数值,根据其连续性,图像分为数字图像和模拟图像。数字图像指数字存储的、用计算机直接处理的图像,是空间坐标和图像数值不连续的、用离散数字表示的图像。在计算机内部,数字图像表现为二维阵列(网格),属于不可见图像。模拟图像又称为光学图像,指空间坐标和图像数值连续变化的、计算机无法直接处理的图像,属于可见图像。

利用计算机技术,模拟图像与数字图像之间可以相互转换。模拟图像转变成数字图像称为模/数转换,记作 A/D 转换;数字图像转变成模拟图像称为数/模转换,记作 D/A 转换。

数字图像最基本的单位是像素。像素是 A/D 转换中的取样点,是计算机图像处理的最小单元;图像像素是长宽大小相等的方格,具有特定的空间位置和属性特征。像素的基本属性特征为像素值,其高低反映了图像的明暗程度和能量的高低。

1.1.2 遥感数字图像

地物能够反射、吸收、发射不同波长的电磁波,利用这种特性,遥感系统可以探测地物,获取遥感图像。

遥感数字图像(remote sensing digital image)是以数字形式存储和表达的遥感图像。

遥感数字图像中的像素值又称为亮度值(或灰度值、灰度级)。亮度值的高低由遥感传感器探测到的地物电磁波辐射强度决定。由于地物电磁波性质的差异和大气的影晌,相同地点不同图像(不同波段、不同时期、不同传感器的图像)中的亮度值不同。

图像内的每个像素对应于三维世界里的一个实体(纯像元)、实体的一部分或多个实体

(混合像元)。在太阳的照射下,一些电磁波被这个实体反射,一些被吸收。反射的电磁波与天空中大气的散射一起到达传感器被记录下来,成为特定像素点的像素值。

遥感数字图像中,像素值是相对的,仅在图像内才能相互比较。相同位置但不同日期和传感器获取的图像中的像素值无法直接比较。只有当两景图像被同一物理过程获取,或者两景图像的亮度值经过标准化处理去除了不同物理过程的影响后,其像素值才可以进行比较。

遥感数字图像与印刷照片(模拟图像)是两类不同的图像,其典型差异如表 1.1 所示。

表 1.1 遥感数字图像与印刷照片的差异

照片	遥感数字图像
来自于模拟方式	来自于数字方式
通过摄影系统产生	通过扫描和数码相机产生
没有像素	基本构成单位是像素
没有行列结构	具有行和列
没有扫描行	可能会观察到扫描行
0 表示没有数据	0 是数值,不表示没有数据
任何点都没有编号	每个点都有确定的数字编号
摄影受电磁波谱的成像范围限制	可以是电磁波谱的任意范围
一旦获取了照片,颜色就是确定的	没有特定的颜色,可以根据需要合成不同的颜色
具有红、绿、蓝三个通道	多个波段(3~8000)

遥感数字图像是人类视觉的扩展。一般认为,人类的视觉系统能够观测到的光谱范围为 400~700nm,灰阶为 15~30 级,对于 25Hz 以上的变化不敏感,观测到的空间范围受视场限制而有限。此外,人眼没有经过校验。遥感数字图像的传感器经过了定标而具有可供比较的标准,图像的波段为 3 到数千个,空间范围可从数厘米到数千公里,提供了不同级别和不同层次的对地观测结果。人类视觉系统与遥感数字图像的紧密结合,极大地增强了分析处理大尺度复杂空间问题和环境问题的能力。

1.2 遥感数字图像处理

1.2.1 遥感数字图像处理的内容

遥感数字图像处理是通过计算机图像处理系统对遥感数字图像中的像素进行系列操作的过程。简单地说,图像处理就是对像素所施加的操作,处理的结果仍然为图像。

在狭义上,数字图像处理不同于数字图像分析。数字图像分析是将像素值转换为其他含义量值的过程。图像处理是图像分析必要的手段和步骤。在广义上,数字图像处理包括了数字图像分析的部分内容,如图像分割和图像分类。本书使用广义的数字图像处理概念。

遥感图像中包括了很多信息。传统的模拟图像方式受媒介限制无法完全表述和处理这些信息,数字图像处理则有效地提高了处理精度和信息提取效率。

遥感数字图像处理的内容包括:

(1) 图像增强:使用多种处理方法压抑、去除噪声,增强显示图像整体或突出图像中特定地物的信息,使图像更容易理解、解译和判读。这些处理方法包括彩色合成、图像拉伸、波段运算、图像平滑、锐化、图像融合等。

图像增强着重于特定的图像特征,在特征提取、图像分析和图像显示中非常重要。增强

过程本身不会增加信息，但改变了表达方式，突出了特定的图像特征，使得图像更易于可视化解释和理解。图像增强常通过人机交互进行，使用的算法取决于具体应用。

(2) 图像校正：图像校正也称图像恢复、图像复原，主要是对传感器或环境造成的图像退化进行模糊消除、噪声滤除、几何失真或非线性校正。校正方法除了图像增强中的一些方法外，还包括辐射校正和几何纠正。在进行信息提取前，有必要对遥感图像进行不同程度的校正处理，以使图像信息尽可能地反映实际地物的辐射信息、空间信息和物理过程。

(3) 信息提取：是指根据地物光谱特征和几何特征，确定提取规则，并以此为基础从校正后的遥感图像中提取各种有用信息的过程。主要处理方法包括图像分割、图像分类、变化检测等，处理结果为遥感专题图。

遥感数字图像处理是遥感对地观测过程的一个重要组成部分(图 1.1)，处理结果直接为资源管理、规划等提供数据服务，为发展新的对地观测技术提供基础依据。

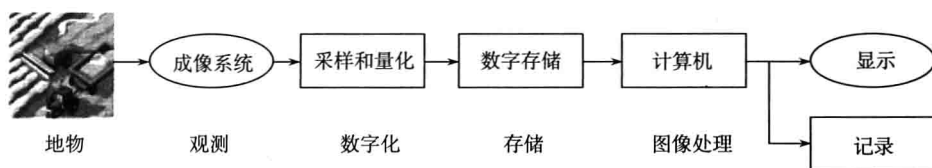


图 1.1 遥感对地观测与图像处理

1.2.2 遥感数字图像处理系统

数字图像处理需要借助于图像处理系统来完成。完整的遥感数字图像处理系统包括硬件系统和软件系统两部分。硬件系统是进行图像处理所必需的设备。软件系统指进行图像处理的各种程序。

1. 硬件系统

遥感数字图像处理的硬件系统包括五部分：计算机、数字化设备、存储设备、显示和输出设备、操作台。

1) 计算机

计算机是图像处理的核心，大容量内存和高速 CPU 有助于加快处理进度。常用的计算机有个人计算机、图形工作站和小型机。苹果计算机由于具有严格的色彩管理体系，是图像处理的首选。

计算机内存提供了快速的数据存取能力。目前，32 位操作系统的计算机支持的内存最大为 4G，64 位操作系统的计算机内存可以达到 32G 以上。内存容量越大，图像处理的效率越高。对于大量的遥感数据，使用 64 位操作系统进行图像处理是必要的。

2) 数字化设备

为了采集数字图像，需要两种装置：一种是传感器，它把接收到的电磁辐射能量转变成与能量成正比的(模拟)电信号；另一种是数字化设备，把上述(模拟)电信号或模拟图像转换成数字(离散)的形式。这些设备安装在遥感系统的遥感平台上。

在桌面上，目前数字化设备有电荷耦合器件照相机(数码相机)、带有显像管的视频摄像机(数码摄像机)和扫描仪等。对于打印输出后的图像，需要用户使用数字化设备(一般是扫描设备)转换为数字图像后才能进行处理。

3) 存储设备

遥感数字图像本身和处理结果需要大容量存储设备来保存。数据存储与数据类型密切相关,例如,存储一幅 1024K 字节的 8 位图像需要 1MB 的存储空间。一景正常的包括 7 个波段的 Landsat5 的 TM 图像文件至少要占用 200MB 的存储空间,高光谱图像则可能占用超过 1GB 的存储空间。

典型的存储设备包括磁盘、光盘、光盘塔、磁带等。为了加快数据的处理和存取效率,有必要使用固态硬盘作为临时的数据存取盘。对于高效的图像处理,磁盘阵列是最好的选择。

光盘可存储 GB 级的数据;一个光盘塔可包含几十到几百张光盘。磁盘的存储容量为 TB 级。磁带以顺序方式存取数据,可存储 GB 到 TB 级的数据;容量大、价格低廉,是长期保存数据的主要方式,现在仍在使用。

4) 显示和输出设备

显示器是基本的图像输出设备。专业的高分辨率(例如 4K)大尺寸显示器和多屏显示器有助于提高图像的处理效率。为了保证显示结果的可比性,显示器需要定期进行专业的色彩校正。

显示的图像可以通过硬拷贝转换到幻灯片、照片或透明胶片上。

打印设备用于输出图像到特定的媒介上。设备不同,输出图像的分辨率和色彩不同。在打印前需要对相关的设备进行统一的色彩校正。随着新型打印技术(热敏、激光、喷墨等)的成熟,高分辨率大幅面彩色图像的打印输出成为主要趋势。

5) 操作台

操作台是安置数字化设备、输出设备和图像处理设备的辅助平台。良好的图像处理环境应该通风、适当避光,以保证图像处理的质量。

2. 软件系统

遥感数字图像处理系统由图像处理控制程序、管理程序和图像处理功能模块组成。除了专业的遥感图像处理系统如 ERDAS、PCI、ENVI 外,还有各种面向专业应用领域的图像处理软件包和高级语言程序库等。

遥感数字图像处理系统的典型功能包括:①不同传感器图像数据的存取和转换;②几何校正;③辐射校正;④图像增强处理;⑤统计分析;⑥图像变换;⑦图像分类;⑧专题制图;⑨专业工具,如高光谱图像处理、地形分析、雷达图像处理工具等。

与办公软件相比,图像处理系统中的各个功能模块显得比较分散,各个菜单之间的联系不紧密。从某种意义上看,图像处理系统是一个综合的工具箱,工作流程需要结合工作要求来确定。实际工作中的图像处理往往是多个功能菜单的联合应用,只有熟练掌握了图像处理的基本原理,才能用好图像处理系统。

1) ERDAS IMAGINE 遥感图像处理系统

ERDAS IMAGINE 是美国 Intergraph 公司的遥感图像处理系统,包括面向多种应用领域的产品模块、不同层次用户的模型开发工具。2014 年该软件的最高版本号为 2014 (ERDAS IMAGINE 2014)。

ERDAS IMAGINE 运行于 UNIX 或 Windows 操作系统上,产品按照模块组成和用户类型进行划分。用户可根据自己的应用要求选择不同功能模块进行组合,以充分利用软硬件资源。ERDAS IMAGINE 系统中最突出的特色是专家模型系统、可视化建模工具和与 Arc-

GIS 软件的兼容和集成。

ERDAS IMAGINE 系统是基于文件的图像处理, 每次图像处理的结果都保存到磁盘文件中。因此, 实际图像处理时需要预留较大的存储空间。

网址: <http://www.hexagongeospatial.com/products/remote-sensing/erdas-imagine>

2) ENVI 遥感图像处理系统

ENVI(environment for visualizing images)是美国 Exelis 公司的遥感图像处理系统, 是处理、分析并显示多光谱数据、高光谱数据和雷达数据的工具。2014 年软件的最高版本号为 5.1, 可以与 ArcGIS 集成应用。

ENVI 包含齐全的遥感图像处理功能, 如几何校正、定标、多光谱图像分析、高光谱分析、雷达分析、地形地貌分析、GPS 连接、正射图像图制作、三维景观生成、数据输入/输出等。ENVI 支持多种操作系统如 Windows、UNIX、Linux、MacOS 及 Open VMS, 最突出的特色是丰富的高光谱数据处理工具和内嵌的 IDL 开发语言。IDL 语言降低了系统扩展的门槛, 可以有效地提高工作效率。

ENVI 的处理结果可以存入硬盘也可以临时存入内存, 增加了处理的便捷性。配置大内存的计算机系统可以有效地提高 ENVI 的图像处理效率。

网址: <http://www.exelisvis.com/ProductsServices.aspx>

3) PCI Geomatica 遥感图像处理系统

PCI Geomatica 是加拿大 PCI 公司的用于图像处理、制图、GIS、雷达数据分析以及资源管理和环境监测的多功能软件系统, 包括数百个模块, 是一个非常全面的遥感图像处理系统。2014 年软件的最高版本号为 PCI Geomatica 2014。PCI 最突出的特色是功能丰富的工具箱和建模系统。

网址: <http://www.pcigeomatics.com>

4) ER Mapper 遥感图像处理系统

ER Mapper 原来是澳大利亚 EARTH RESOURCE MAPPING 公司的遥感图像处理系统, 注重于图像压缩和图像的网络服务。

ER Mapper 的最大特点是基于算法的图像处理, 可以仅仅保存处理算法而不保存处理后的图像, 从而极大地节省了硬盘的空间。再次使用处理过的图像时, 系统会根据保存的算法自动产生相应的结果图像。同时, ER Mapper 具有无缝镶嵌、均衡色彩和压缩图像等功能。独有的 ECW 压缩格式, 数据处理能力达到 TB 级, 使得 ER Mapper 在遥感图像网络发布中发挥了重要作用。

2010 年后, ER Mapper 已经被包括到 ERDAS 图像处理系统中, 详细内容请参阅: <http://www.hexagongeospatial.com/products/remote-sensing/erdas-er-mapper>。

5) 面向对象的遥感图像特征提取和分类软件

高空间分辨率图像中光谱波段少, 空间分辨率高, 便于从图像中提取几何特征, 处理方法与一般的多光谱光学遥感图像不同。与此相关的软件产品包括: ①易康(eCognition), Trimble 公司产品, 利用图像的色调、形状、纹理、层次等信息, 通过图像分割和模糊决策等方法进行图像分类和信息提取。2014 年的版本为 eCognition 8.8。②FeatureObjex, PCI Geomatica 中的模块, 基于图像的纹理、色彩和形状提取目标要素。③ENVI EX, ENVI5.0 以后产品中的模块, 进行面向对象的特征提取和分类。④ERDAS Objective, ERDAS Image 产品中的模块, 基于图像的几何、纹理等特征进行信息提取。