

遥感

数字图像处理 基础实验教程

潘竟虎 / 编著

Yaogan Shuzi Tuxiang Chuli
Jichu Shiyan Jiaocheng

中国环境出版集团

遥感数字图像处理

基础实验教程

潘竟虎 编著

封面设计	潘竟虎
责任编辑	潘竟虎
封面设计	潘竟虎
出版发行	中国环境出版集团
地址	北京市西城区
电话	010-61000000
邮编	100000
网址	http://www.ces.com.cn
电子邮箱	ces@ces.com.cn
印刷	北京印刷厂
装订	平装
开本	787mm×1092mm
印张	16
字数	310千字
定价	60.00元

中国环境出版集团·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

遥感数字图像处理基础实验教程/潘竟虎编著. —北京:
中国环境出版集团, 2019.7

ISBN 978-7-5111-4056-2

I. ①遥… II. ①潘… III. ①遥感图象—数字图象
处理—实验—高等学校—教材 IV. ①TP751.1-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 150133 号

出 版 人 武德凯
责任编辑 李兰兰
责任校对 任 丽
封面设计 宋 瑞



更多信息, 请关注
中国环境出版集团
第一分社

出版发行 中国环境出版集团
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
010-67112735 (第一分社)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京市联华印刷厂
经 销 各地新华书店
版 次 2019 年 7 月第 1 版
印 次 2019 年 7 月第 1 次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 24
字 数 510 千字
定 价 60.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究。】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

前 言

随着社会和科技的发展,地学的内涵、性质和社会功能也在变化,这在最近 30 年尤为明显:遥感、信息技术和各种实时观测、分析技术的发展,使地球科学进入了覆盖全球、穿越圈层,即地球系统科学的新阶段,从局部现象的描述,推进到行星范围的推理探索,获得了全球性和系统性的信息。遥感是 20 世纪 60 年代后发展起来的新兴学科,是现代地理信息学及监测技术的核心手段之一。目前,国内外遥感技术的发展呈现出广阔的应用前景。遥感技术的发展呈现出以下趋势:光谱信息成像精细化、图像处理工程化、遥感信息提取智能化、遥感应用研究定量化。卫星遥感图像的空间分辨率已达到亚米级,光谱波段数增至数千个,光谱分辨率达到纳米级;遥感信息分析已经由模拟影像信息的判读发展到数字图像信息的定量解析,遥感、卫星定位导航和地理信息系统综合应用已变成现实。遥感技术的发展,必将人类带入一个多层、立体、多角度、全方位和全天候对地观测的新时代。

遥感是对使用非接触传感器系统获得的影像及数字图像进行记录、量测和解译,从而获得自然物体和环境的可靠信息的一门艺术、科学和技术(美国摄影测量与遥感协会对遥感的定义)。遥感作为对地观测的重要手段,为人类认识宇宙提供了新的途径和手段。遥感图像是对地观测的主要结果,作为一种重要的信息源,已被广泛应用于地理、地质、生态、气象、资源、环境、灾害、农林、水利、社会经济等领域。遥感数字图像处理的原理和方法广泛融合、借鉴、引进了物理学、地学、信息科学、数学等学科的知识,具有开放性、更新快、综合性强的特点。随着遥感技术的飞速发展,相关学科的教师、学生、科研工作者以及业务应用人员对遥感数字图像处理的需求也日益强烈,因此,急需一系列容易理解、既利于教学又便于自学的相关教材。

遥感是我国高等院校地理学各专业的基础课,遥感图像处理实验是学生理解、掌握和巩固课堂理论教学效果,提高遥感图像分析、处理技能以及创新实践能力的重要环节,在遥感教学中具有举足轻重的地位。在教学过程中,以理论引导应用,以实践巩固理论,将软件操作作为课程的重要内容,培养学生分析问题、解决问题的能力。一个学科要发展,最基础的工作应该需要更多的人去做,所以应该让更多的力量来关注遥感教育,特别是其中的实践教学更应该受到重视。自 2005 年以来,本人在西北师范大学先后讲授了本科生课程《遥感概论》《遥感技术基础》《生态遥感》《遥感图像处理软件》《遥感数字图像处

理》和研究生课程《资源环境遥感》《遥感图像处理软件》《遥感原理与应用》等,选修学生覆盖了地理信息科学、地理科学、资源环境与城乡规划管理、环境科学、土地资源管理、环境工程等专业。在多年授课期间与学生交流、指导学生利用遥感图像参加各类竞赛和解决实际问题时,发现普遍存在重理论、轻实践的问题。同时,遥感实验实践课程的教材远远滞后于理论课程。但由于遥感技术发展迅速,遥感数据源日新月异,加之目前国内外遥感与地理信息系统软件种类较多,鉴于此,我们根据近年来地理信息科学本科专业课堂教学情况,综合考虑教师与学生的反馈意见,选择 ERDAS IMAGINE 遥感图像处理软件作为教材编写对象。

在众多的遥感图像处理平台软件当中,ERDAS IMAGINE 因其界面友好、功能模块齐全、与 GIS 的有机集成而受到广大用户的青睐。本书共分 12 章,涵盖了遥感数据读取、图像预处理、几何校正、图像增强、图像融合、图像分类、高光谱图像处理、图像地学分析、矢量处理、遥感解译与制图、空间建模、雷达图像处理、立体分析等方面的内容,对 ERDAS 软件的各项功能由浅入深地进行了详尽介绍,并附有理论基础简介和课后思考题。相关的实验已经在地理信息科学专业的本科教学中使用多年。本书适合地理信息科学、自然地理、人文地理、测绘科学、土地资源管理、生态学、环境科学等专业的遥感数字图像处理实验使用,也可作为 ERDAS 软件的练习手册。读者能够对遥感图像处理的基本操作有清晰的了解,并能够掌握遥感图像处理软件的具体操作方法,实现从学习到应用的快速转化。

本书由本人负责总体设计、编写和统稿工作,西北师范大学地理与环境科学学院前后有数届硕士生参加过部分内容的编写工作,尤其是魏石梅、张亮林、王云、赖建波、张永年、徐柏翠、贺蕾、张蓉、齐振宇等在资料的收集与整理、实习步骤的校核、文字的校对等方面做了大量工作。西北师范大学地理与环境科学学院、教务处给予了出版经费支持,中国环境出版集团的李兰兰编辑在编辑出版方面付出了大量精力。对以上单位、人员的辛勤劳动,在此一并表示感谢。本书在编写过程中,参考了 ERDAS 操作手册和前人编写的大量书籍、资料,恕不一一列出。

由于时间紧张,加之遥感数字图像处理技术发展异常迅速,书中的疏漏、不足和滞后在所难免。衷心欢迎教材使用者和读者提出批评与建议。

作者

2019 年 6 月于兰州

目 录

第 1 章	ERDAS 遥感图像处理软件简介	1
1.1	ERDAS 软件概述	1
1.2	ERDAS 软件功能模块	3
1.3	ERDAS IMAGINE 2015 图标面板	4
1.4	遥感图像显示与数据输入/输出	9
1.5	AOI 菜单操作	12
1.6	数据格式转换	20
第 2 章	图像预处理	22
2.1	遥感图像的投影变换	23
2.2	遥感图像几何校正	26
2.3	图像的镶嵌	46
2.4	图像的裁剪	58
第 3 章	图像增强	64
3.1	辐射增强处理	65
3.2	空间域增强处理	76
3.3	频率域增强处理	89
3.4	彩色增强处理	106
3.5	光谱增强处理	117
3.6	代数运算	126
第 4 章	图像融合	131
4.1	融合处理原理及功能模块	131
4.2	分辨率融合	132
4.3	改进的 IHS 融合	135

4.4	HPF 融合	139
4.5	小波变换融合	141
4.6	HCS 融合	143
4.7	Ehlers 融合	145
第 5 章 遥感图像分类		149
5.1	非监督分类	150
5.2	监督分类	155
5.3	面向对象的分类	181
5.4	分类后处理	191
5.5	专家分类系统	196
第 6 章 高光谱图像处理		210
6.1	归一化处理	211
6.2	数值调整	214
6.3	相对反射	218
6.4	对数残差	222
6.5	均值	225
6.6	光谱剖面	229
6.7	信噪比	234
6.8	光谱库	235
第 7 章 图像分析		237
7.1	地理信息系统分析	238
7.2	地形分析	248
7.3	实用分析	267
第 8 章 矢量处理功能		283
8.1	矢量图层的基本操作	283
8.2	创建矢量图层	288
8.3	注记的创建与编辑	291
8.4	编辑矢量图层	296
8.5	Shapefile 文件操作	304

第 9 章 遥感解译与制图	308
9.1 遥感解译	309
9.2 地图编制	312
第 10 章 空间建模	326
10.1 空间建模的基本概念	326
10.2 模型生成器	330
10.3 空间建模应用实例	332
第 11 章 雷达图像处理	342
11.1 雷达图像的加载与显示	343
11.2 雷达图像的重采样功能	345
11.3 雷达图像的斑点消除	347
11.4 雷达图像的纹理结构分析	350
11.5 雷达图像的亮度调整	352
第 12 章 立体分析	354
12.1 功能介绍	355
12.2 建立 DSM 表面	357
12.3 三维信息测量	367
参考文献	376

第 1 章 ERDAS 遥感图像处理软件简介

本章主要内容：

- ERDAS 软件概述
- ERDAS 软件功能模块
- ERDAS IMAGE 2015 图标面板
- 遥感图像显示与数据输入/输出
- AOI 菜单操作
- 数据格式转换

遥感技术作为对地观测、提取地表有效信息的最有力工具，已经被广泛应用于各行各业，其中，ERDAS IMAGE 作为一款国际主流的遥感图像处理系统，不仅提供了增强、滤波、融合等基本应用，更提供了强大的工具，如专家分类、数字摄影测量、三维可视化分析等，使用户更加得心应手。通过认识 ERDAS 遥感图像处理软件，可以掌握 ERDAS 的基本操作和视窗操作，为随后对 ERDAS 遥感图像处理软件的其他应用的学习打下坚实的基础。在 ERDAS IMAGE 2015 中，ERDAS 是以模块化的方式提供给用户的，可使用户根据自己的应用要求合理地选择不同功能模块及其不同组合。

实验目的：

1. 初步认识 ERDAS IMAGE 2015 遥感图像处理软件。
2. 熟悉 ERDAS IMAGE 2015 软件功能模块。
3. 掌握 ERDAS IMAGE 2015 视窗基本操作。

1.1 ERDAS 软件概述

ERDAS IMAGE 是美国 ERDAS 公司开发的遥感图像处理系统。它以其先进的图像处理技术，友好灵活的用户界面和操作方式，面向广阔应用领域的产品模块，服务于不同层次用户的模型开发工具以及高度的遥感图像处理/地理信息系统 (RS/GIS) 集成功能，为

遥感及相关应用领域的用户提供了内容丰富且功能强大的图像处理工具,代表了遥感图像处理系统未来的发展趋势。ERDAS 公司优秀的 IMAGINE GIS 软件方案一直是业界的先驱,其软件处理技术覆盖了图像数据的输入/输出,图像的增强、纠正,数据的融合与各种变换,信息提取,空间分析与建模,专家分类,矢量数据更新,数字摄影测量与三维信息提取,硬拷贝地图输出,雷达数据处理以及三维立体显示分析等。该软件功能强大,具有以下特点:

(1) 功能全面

ERDAS IMAGINE 是容易使用的、以遥感图像处理为主要目标的软件系列工具。不管使用者处理图像的经验或专业背景如何,都能通过它从图像中提取重要的信息。ERDAS IMAGINE 提供了大量的工具,支持对各种遥感数据源,包括航空、航天、全色、多光谱、高光谱、雷达、激光雷达等图像的处理。呈现方式从打印地图到 3D 模型,ERDAS IMAGINE 针对遥感图像及图像处理需求,为使用者提供一个全面的解决方案。它简化了操作,工作流化生产线,在保证精度的前提下,节省了大量的时间、金钱和资源。

(2) “3S”集成

ERDAS IMAGINE 是业界唯一一个“3S”集成的企业级遥感图像处理系统,主要应用方向侧重于遥感图像处理,同时与地理信息系统紧密结合,并且具有与全球定位系统集成功能,与 ArcGIS 软件系列的直接集成主要表现在数据格式的无缝兼容上,ERDAS IMAGINE 可以直接读取、查询、检索 ArcGIS 的 Coverage、Shapefile、SDE 矢量数据,并可以直接编辑 Coverage、Shapefile 数据;全面支持 ArcGIS 软件的地理数据库(Geodatabase);ERDAS IMAGINE 可以作为 ArcSDE 客户端,读取关系数据库中的矢量与图像数据;通过 ArcIMS 可发布 .img 格式的图像;可以实现矢量、栅格数据间的转换。同时,ERDAS IMAGINE 可以从全球定位系统(GPS)设备中直接获取实时信息。

(3) 面向企业化

ERDAS IMAGINE 9 版本以上引入面向企业的图像处理的理念,它提供的 3 个模块都具有面向企业的处理能力。它们分别是 IMAGINE Essentials、IMAGINE Enterprise Loader 和 IMAGINE Enterprise Editor。其中,IMAGINE Essentials 提供对数据库的只读访问,访问数据库中的栅格和矢量数据,全面支持 ESRI 的 ArcSDE 及 Oracle 10G Spatial 管理的海量数据,同时 IMAGINE Essentials 可以作为某些服务器的客户端访问并下载它们提供的数据,如 ERDAS APOLLO IWS、LIM、OGC Web Service 等。另外,它配备了 IMAGINE Enterprise Loader 和 IMAGINE Enterprise Editor 等扩展模块,分别用于 Oracle Spatial 中导入空间数据,编辑和创建 Oracle Spatial 格式的矢量数据。

(4) 无缝集成

ERDAS IMAGINE 简化了分类、正射、镶嵌、重投影、分类、图像解译、图形化建模、智能化信息提取和变化检测等图像处理功能,同时与不断更新的多种 GIS 数据格式很好地

集成,包括 ESRI Geodatabase 和 Oracle。直观的 ERDAS IMAGINE 界面按流程化的工作模式设计,节省了工作时间,强大的算法和数据处理功能在后台完成工作,使操作者能集中精力进行数据分析。在 ERDAS Geospatial Light Table (GLT) 中进行了地理关联的窗口具有快速显示并对多个数据集进行操作的能力,大大节省了需要手工关联多个不同来源数据的时间。除功能、数据的无缝集成外,ERDAS IMAGINE 能很好地与数据库(关系数据库通过 ArcSDE、Oracle Spatial)、图像发布与管理系统(IWS、LIM)及基于 OGC 标准的 Web Service 等系统无缝兼容。

(5) 工程一体化

ERDAS IMAGINE 通过将遥感、遥感应用、图像处理、摄影测量、雷达数据处理、地理信息系统和三维可视化等技术结合在一个系统中,实现地学工程一体化结合;不需要做任何格式和系统的转换就可以建立并且实现整个地学相关工程。它呈现完整的工业流程,为用户提供计算速度更快、精度更高、数据处理量更大、面向工程化的新一代遥感图像处理与摄影测量解决方案。

1.2 ERDAS软件功能模块

ERDAS IMAGINE 面向不同需求的用户,对系统的扩展功能采用开放的体系结构,以 IMAGINE Essentials、IMAGINE Advantage、IMAGINE Professional 的形式为用户提供了低、中、高三档产品架构,并有丰富的功能扩展模块供用户选择,使产品模块的组合具有极大的灵活性。

1.2.1 IMAGINE Essentials 级

IMAGINE Essentials 级是一个包含制图和可视化核心功能、花费极少的图像工具软件,借助 IMAGINE Essentials 可以完成二维/三维显示、数据输入、排序与管理、地图配准、专题制图以及简单的分析。可以集成使用多种数据类型,并在保持相同的易于使用和易于剪裁的界面下升级到其他的 ERDAS 公司产品。可扩充的模块包括:矢量(Vector)模块、虚拟地理信息系统(Virtual GIS)模块和 C 语言开发工具包(Developer's Toolkit)模块。

1.2.2 IMAGINE Advantage 级

IMAGINE Advantage 级在 IMAGINE Essentials 基础上增加了栅格图像 GIS 分析和单张航片正射校正功能,简言之,IMAGINE Advantage 是一个完整的图像地理信息系统(Imaging GIS)。可扩充的模块包括:雷达(Radar)模块、Ortho MAX 数字航测模块、OrthoBase 数字摄影测量模块、OrthoRadar 雷达编码校正模块、Stereo SAR DEM、IFSAR DEM、ATCOR 大气校正模块。

1.2.3 IMAGINE Professional 级

IMAGINE Professional 级面向从事复杂分析、经验丰富的专业用户,除 IMAGINE Essentials 和 IMAGINE Advantage 中包含的功能外,还提供轻松易用的空间建模工具、高级的参数/非参数分类器、知识工程师和专家分类器、分类优化和精度评价,以及雷达图像分析工具。可扩充的模块是子像元分类器 (Subpixel Classifier) 模块。ERDAS IMAGINE 的功能体系如图 1-1 所示。

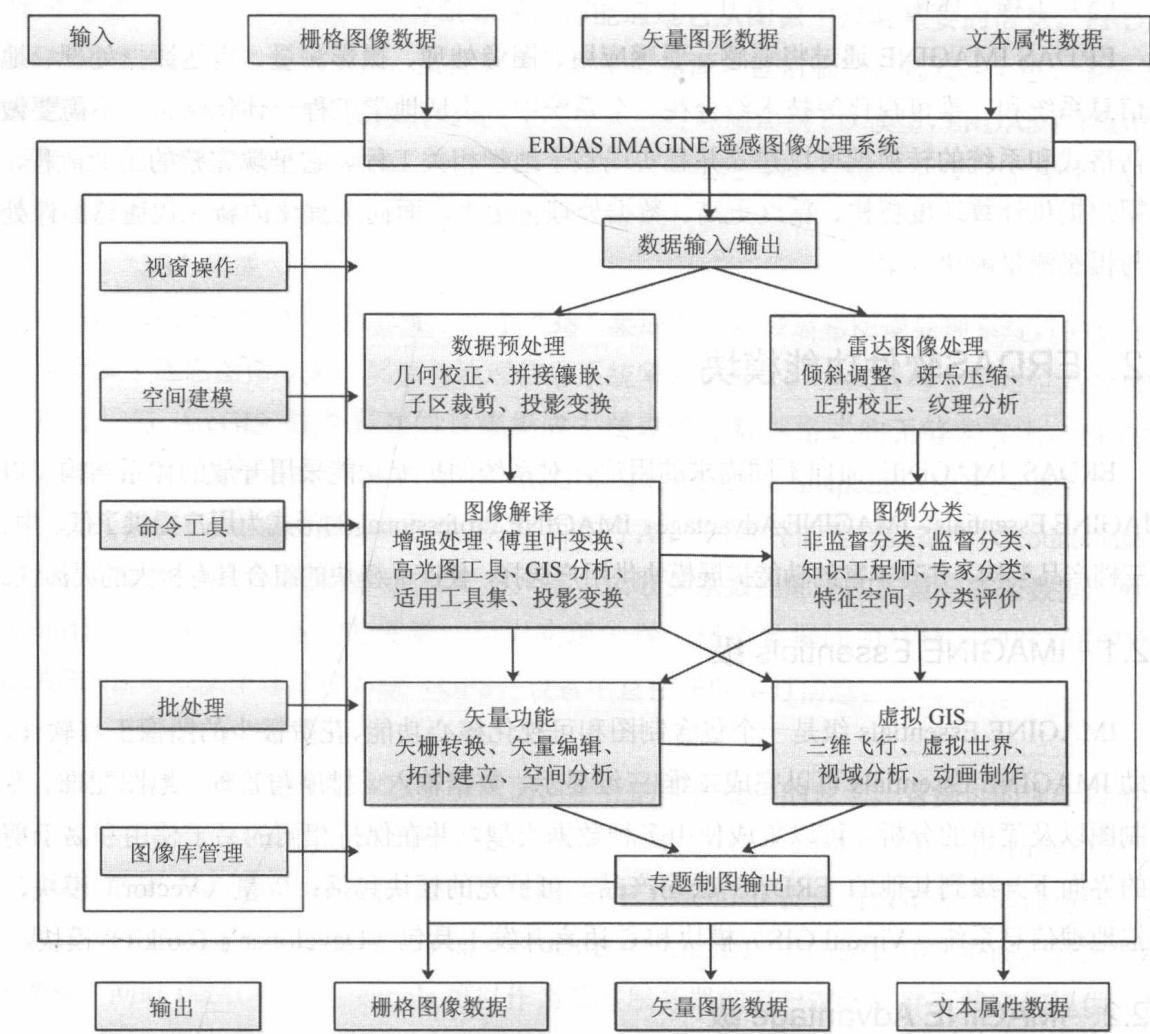


图 1-1 ERDAS IMAGINE 的功能体系

1.3 ERDAS IMAGINE 2015图标面板

ERDAS IMAGINE 2015 中的图标面板与 ERDAS IMAGINE 9.2 的差别比较大,本节主

要介绍的是显示栅格图像、矢量图形、注记文件、AOI 等数据层的主要窗口，启动 ERDAS IMAGINE 2015 后，用户首先看到的就是默认设置的面板界面，如图 1-2 所示。

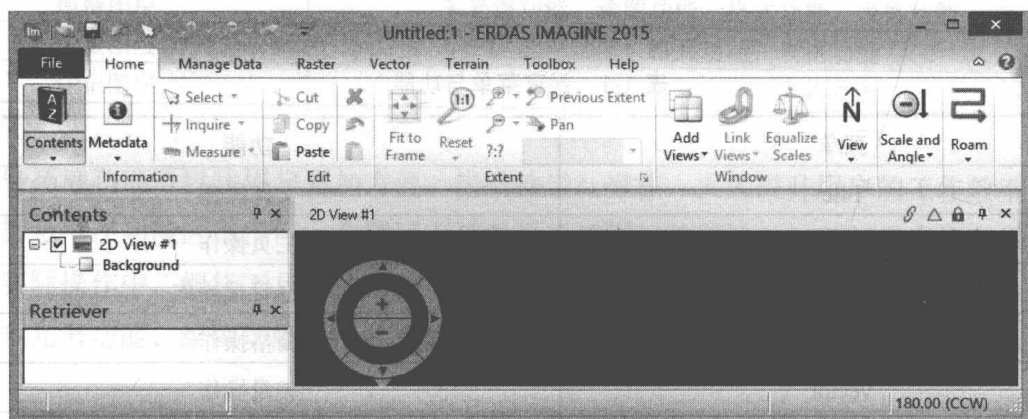


图 1-2 ERDAS IMAGINE 界面

在 ERDAS IMAGINE 面板默认设置下主要包括左侧最上方的快捷访问工具栏，其下方的功能区，显示窗 (Window)、内容视窗 (Contents)、检索视窗 (Retrieve)，以及最下方的状态条。状态条中包含投影、海拔、旋转方向等信息。

另外，用户在操作过程中也可以随时打开新的视窗。操作过程如下：在 ERDAS 功能区的 File 标签下选择 New 选项，并在之后出现的三个子选项 [地图视窗 (Map View)、2D 视窗 (2D View)、3D 视窗 (3D View)] 中选择需要的显示窗 (如图 1-3)。或者单击 Home 标签下的 Add Views 工具，并选择需要的视窗类型。为了表述方便，在本书中主要使用 2D 视窗。

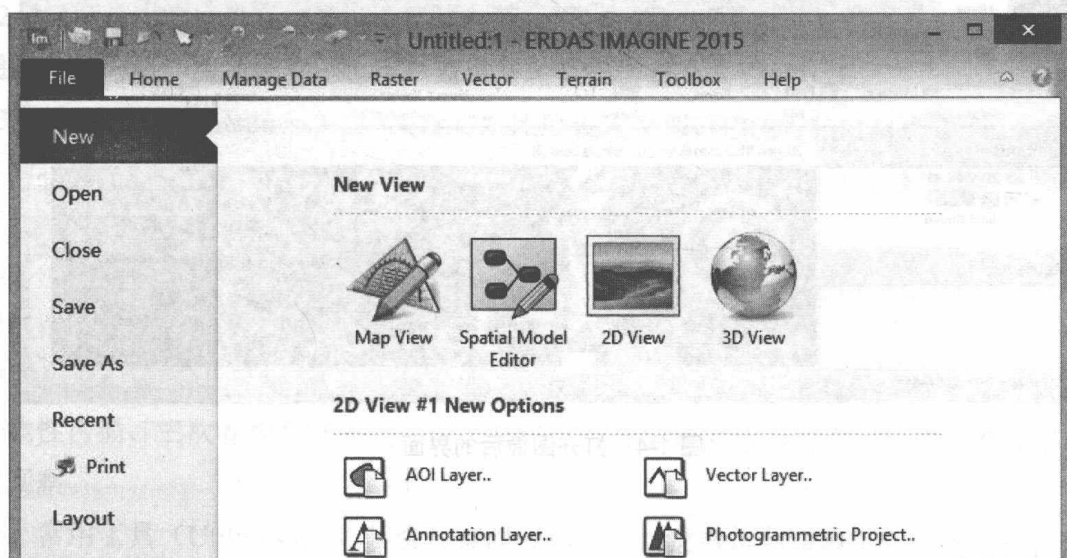


图 1-3 新建视窗

1.3.1 视窗菜单与功能

如图 1-2 所示，视窗菜单栏中共有 8 个菜单，各菜单对应的功能见表 1-1。

表 1-1 视窗菜单与功能

菜单	功能
File	文件操作
Home	主页操作
Manage Data	数据管理操作
Raster	栅格操作
Vector	矢量操作
Terrain	地形操作
Toolbox	工具箱操作
Help	联机帮助

另外，ERDAS IMAGINE 2015 还会根据用户在视窗中打开的文件类型而增加新的功能。如图 1-4 中标注的拓展功能区，就是根据打开的栅格图层而自动生成的，其中包括多光谱功能（Multispectral）、绘图功能（Drawing）、格式功能（Format）、表格功能（Table）。常见拓展功能区的类型及拓展功能见表 1-2。

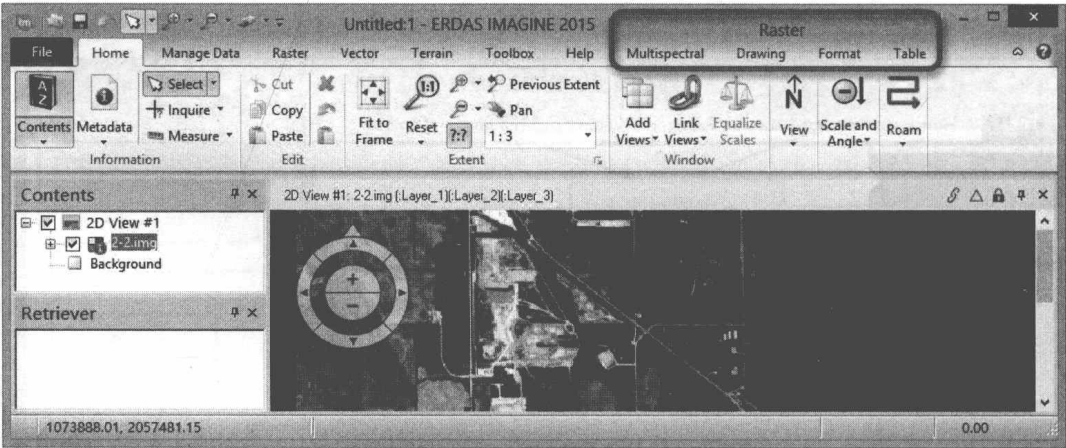


图 1-4 打开图像后的界面

表 1-2 常见拓展功能区的类型及拓展功能

类型	拓展功能
AOI 图层	绘图功能、格式功能
栅格图层	多光谱功能、绘图功能、格式功能、表格功能
矢量图层	绘图功能、格式功能、表格功能
注记图层	绘图功能、格式功能、表格功能

这些拓展功能可以让用户更加方便、快捷地进行操作，大大提升用户的工作效率。另外，鼠标悬停在功能区里任何一个图标上都会显示该图标的用法，以便初学者进行操作。

在实际操作中，栅格工具的使用频率最高。在加载了栅格图像之后，Raster 菜单下便会出现多光谱功能、绘图功能、格式功能、表格功能四个功能区（如图 1-5）。

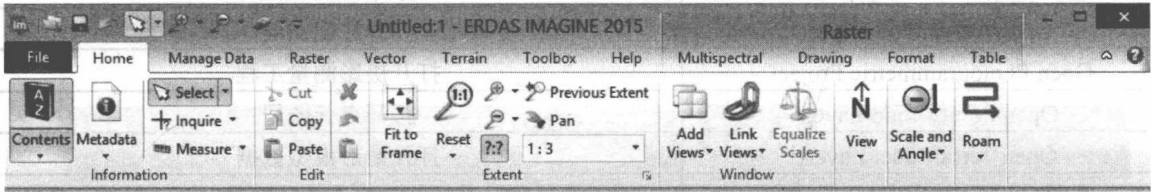


图 1-5 栅格功能区

其中，绘图功能、格式功能、表格功能与其他格式相差不大，唯有多光谱功能是栅格数据独有的。在此功能区下，又被分成以下 8 个功能模块：

- （1）增强工具（Enhancement）：包括基本的对比度设置，如直方图补偿、断点设置，以及离散动态范围调整等其他工具。
- （2）亮度与对比度设置（Brightness Contrast）：可以对图像的亮度与对比度进行调整，可以通过按钮一级一级地调整，也可以通过滑轮直接调整至需要的状态。
- （3）锐化工具（Sharpness）：同亮度与对比度设置类似，ERDAS IMAGINE 2015 也可以直接对锐度进行设置，并且还可以直接运用预定义的模板对图像进行边缘检测或边缘增强处理，十分方便。
- （4）波段设置（Bands）：可以针对传感器与色彩合成方式进行选择，也可以自行选择各个通道的波段。
- （5）视窗设置（View）：包含两个工具，一是重采样选项，可选择的方法有最邻近像素、双线性内插、三次卷积和样条函数；二是可以选择像素的透明与否，以便在叠加显示时方便观察。
- （6）常用工具（Utilities）：此模块具有四大功能，包括剪切和掩膜工具、光谱剖面工具、矢量计算工具、金字塔计算与统计工具。

(7) 转换与校正工具 (Transform & Orthorect): 可以利用此工具对图像进行转换或者对视窗中的图像进行校正并检查精确度。

(8) 编辑工具 (Edit): 包含填充、偏移、插值等常用工具。

1.3.2 快捷菜单功能

在显示窗口右键单击，弹出快捷菜单，共有 29 项命令，各命令对应的功能见表 1-3。

表 1-3 快捷菜单命令

菜单命令	功能
Open Raster Layer	打开栅格图层
Open Vector Layer	打开矢量图层
Open AOI Layer	打开 AOI 图层
Open Annotation Layer	打开注记图层
Open Photogrammetric Project	打开摄影测量工程
Open Point Cloud Layer	打开点云图层
Open TerraModel Layer	打开地形模型数据
Three Layer Arrangement	打开一个 3 波段图像
Multi Layer Arrangement	打开多波段图像
New AOI Layer	新建 AOI 图层
New Annotation Layer	新建注记图层
New Vector Layer	新建矢量图层
New Photogrammetric Project	新建摄影测量工程
Create 3D view form content	以当前的 2D 视图中的所有内容创建 3D 视图
Start imagine drape with content	基于当前内容的以 DEM 为基础的三维图像显示
Blend	混合显示工具
Swipe	卷帘显示工具
Flicker	闪烁显示工具
Clear view	清除视窗中的内容
Close Top Layer	关闭顶层图层
Fit to Frame	按照视窗大小显示图像
Fit View to Data Extent	按照数据范围设置视窗大小
Zoom	缩放显示工具
Drive other 2D Views	将其他 2D 视图重心平移到当前视图的右键处
Inquire	开启屏幕光标查询功能
Inquire Box	开启方框区域查询功能
Background Color	设置背景颜色
Resampling Method	设置重采样方式
Scroll Bars	设置视窗滑动条显示与否

1.4 遥感图像显示与数据输入/输出

ERDAS IMAGE 的数据输入/输出功能在 Import/Export 功能中完成, 目前, ERDAS IMAGE 2015 可以输入的数据格式达 170 余种, 可以输出的数据格式也有 60 余种, 几乎包括所有常用或常见的栅格数据和矢量数据格式。数据输入/输出的一般操作过程为: 启动 ERDAS IMAGE 2015 后, 单击 Manage Data 标签下的 Import Data/Export Data 图标 (如图 1-6), 弹出数据输入/输出对话框 (如图 1-7), 在此对话框中, 用户通常只需要设定以下参数:

- (1) 在 Format 下拉列表框中选择数据的格式。
- (2) 确定输入数据的文件 (Input File: *.*)。
- (3) 确定输出数据的文件 (Output File: *.*)。



图 1-6 Import Data/Export Data 图标

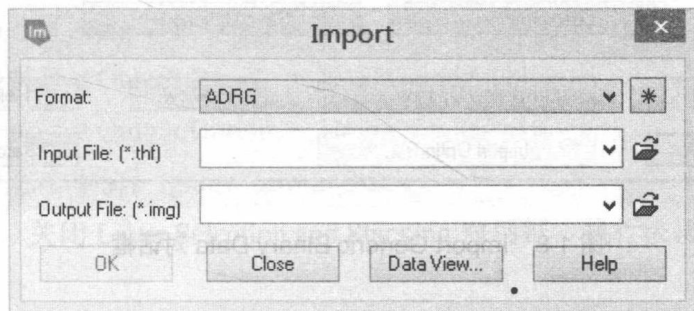


图 1-7 数据输入对话框

1.4.1 二进制图像数据输入

用户从遥感卫星地面站购置的图像数据, 往往是经过转换以后的单波段普通二进制 (Generic Binary) 数据文件, 外加一个说明头文件 (header), 对于这种数据, 必须按照二进制格式来输入。在 ERDAS IMAGE 2015 中执行二进制图像数据输入的操作步骤如下: