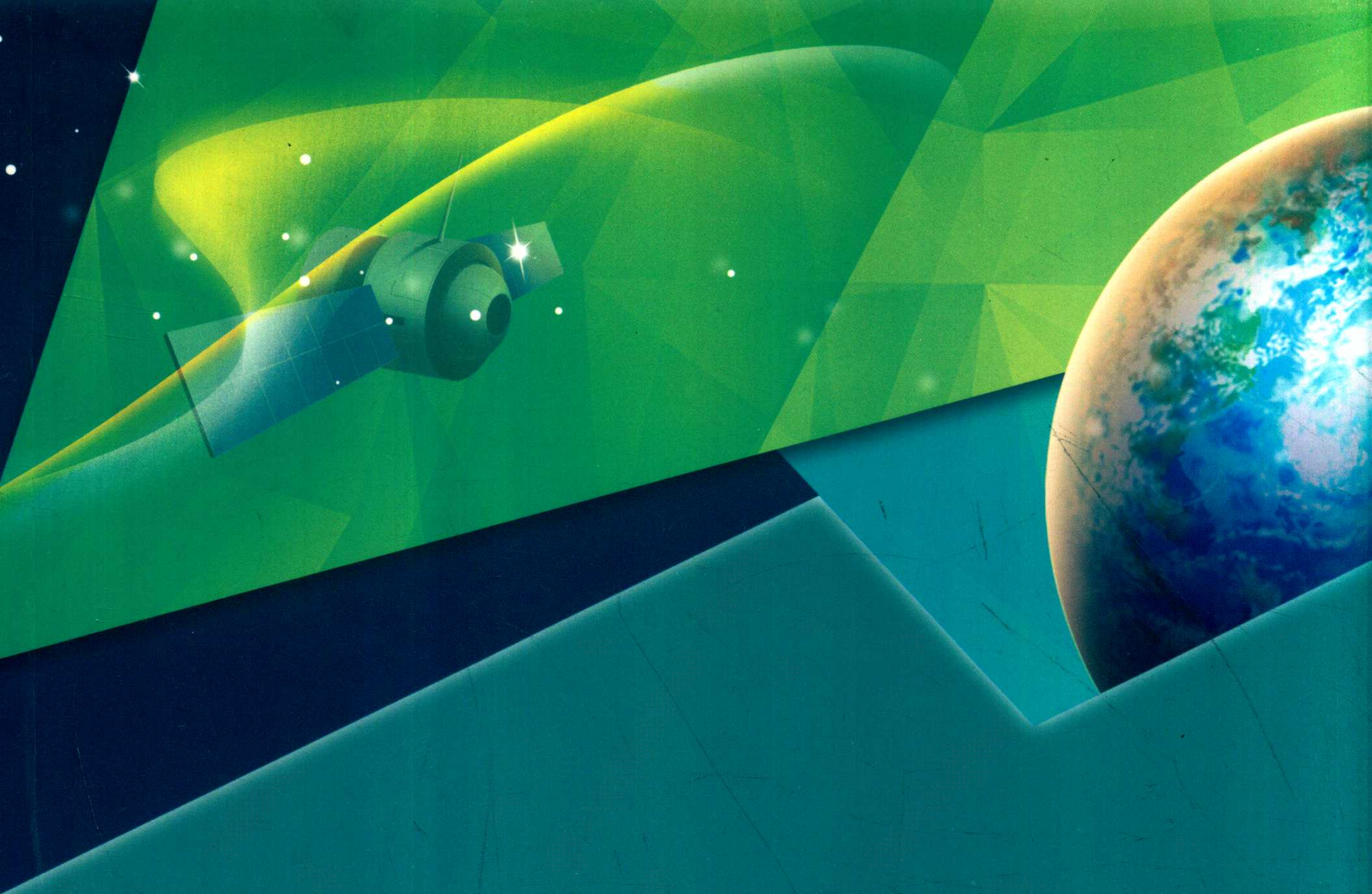




高等学校遥感信息工程实践与创新系列教材

遥感综合应用实践

李刚 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

高等学校遥感信息工程实践与创新系列教材

遥感综合应用实践



李刚 编著

高等学校遥感信息工程实践与创新系列教材编审委员会

顾问 李德仁 张祖勋 龚健雅 郑肇葆

主任委员 秦 昆

副主任委员 胡庆武

委员 (按姓氏笔画排序)

马吉平	王树根	王 玥	付仲良	刘亚文	李 欣	李建松
巫兆聪	张 熠	周军其	胡庆武	胡翔云	秦 昆	袁修孝
高卫松	贾永红	贾 涛	崔卫红	潘 励		



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

遥感综合应用实践/李刚编著. —武汉: 武汉大学出版社, 2018. 7
高等学校遥感信息工程实践与创新系列教材
ISBN 978-7-307-20270-2

I. 遥… II. 李… III. 遥感技术—高等学校—教材 IV. TP7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 119777 号

责任编辑: 顾素萍

责任校对: 汪欣怡

版式设计: 汪冰滢

出版发行: 武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件: cbs22@whu.edu.cn 网址: www.wdp.com.cn)

印刷: 湖北民政印刷厂

开本: 787 × 1092 1/16 印张: 18.25 字数: 433 千字 插页: 1

版次: 2018 年 7 月第 1 版 2018 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-20270-2 定价: 39.00 元

版权所有, 不得翻印; 凡购我社的图书, 如有质量问题, 请与当地图书销售部门联系调换。

序

实践教学是理论与专业技能学习的重要环节，是开展理论和技术创新的源泉。实践与创新教学是践行“创造、创新、创业”教育的新理念，是实现“厚基础、宽口径、高素质、创新型”复合型人才培养目标的关键。武汉大学遥感信息工程类(遥感、摄影测量、地理国情监测与地理信息工程)专业人才培养一贯重视实践与创新教学环节，“以培养学生的创新意识为主，以提高学生的动手能力为本”，构建了反映现代遥感学科特点的“分阶段、多层次、广关联、全方位”的实践与创新教学课程体系，夯实学生的实践技能。

从“卓越工程师计划”到“国家级实验教学示范中心”建设，武汉大学遥感信息工程学院十分重视学生的实验教学和创新训练环节，形成了一套针对遥感信息工程类不同专业和专业方向的实践和创新教学体系，形成了具有武大特色以及遥感学科特点的实践与创新教学体系、教学方法和实验室管理模式，对国内高等院校遥感信息工程类专业的实验教学起到了引领和示范作用。

在系统梳理武汉大学遥感信息工程类专业多年实践与创新教学体系和方法基础上，整合相关学科课间实习、集中实习和大学生创新实践训练资源，出版遥感信息工程实践与创新系列教材，服务于武汉大学遥感信息工程类在校本科生、研究生实践教学和创新训练，并可为其他高校相关专业学生的实践与创新教学以及遥感行业相关单位和机构的人才技能实训提供实践教材资料。

攀登科学的高峰需要我们沉下去动手实践，科学研究需要像“工匠”般细致入微实验，希望由我们组织的一批具有丰富实践与创新教学经验的教师编写的实践与创新教材，能够在培养遥感信息工程领域拔尖创新人才和专门人才方面发挥积极作用。



2017年1月

前言

“摄影测量与遥感”是武汉大学的优势学科，是教育部审定的首批全国重点学科，也是 211 和 985 工程重点建设学科。在该学科基础上创建与发展的“遥感科学与技术”专业是国家一类特色专业、湖北省“高校人才培养质量与创新工程品牌专业”。

在笔者申报的教育部首批新工科研究项目“面向新工科的遥感信息工程实践教学体系与实践平台构建”支持下，对《遥感综合应用实践》一书进行了编纂，在吸收摄影测量与遥感学科部分相关科研成果的基础上，将遥感技术与环境监测中的热点问题相结合，通过设置自主设计型、综合应用型、程序开发型与探索研究型实验教学环节，以具体典型应用为基础，将遥感原理、遥感方法、遥感软件操作、遥感算法编程、遥感数字图像处理结合起来，力求在内容和编排表达方面有新的突破，培养学生理论联系实际、解决遥感应用问题的能力以及研究开发的能力。

全书共分 8 章，引入了 7 个具体典型专题的应用，如基于像素的变化检测、面向对象的信息提取、高光谱影像分类、叶绿素浓度反演、气溶胶光学厚度反演、地表温度反演、SAR 影像提取 DEM，包括 3 种遥感主流软件 ERDAS、ENVI、eCognition 的操作，涉及 7 种影像如多光谱影像、高分辨率影像、热红外影像、雷达影像、高光谱影像等的处理，以及 VS\ GDAL\ OpenCV 的遥感处理编程。第一章介绍了利用 VS 进行遥感影像处理编程的基础知识，以及 GDAL 库和 OpenCV 库的相关知识。第二章介绍了遥感影像变化检测的理论、方法与实验，对遥感变化检测的原理和方法进行了概括、总结，重点讲解了基于特征差异的变化检测方法、基于主分量变换的光谱特征变化检测实验、基于 EM 算法的纹理特征变化检测实验、分类后比较法的变化检测方法以及变化检测的精度评定。第三章介绍了面向对象的遥感影像信息提取的理论、方法与实验，包括多尺度影像分割方法与实验、面向对象特征的信息提取方法与实验、面向对象分类的信息提取方法与实验、面向对象的变化信息提取方法与实验。第四章介绍了多光谱遥感影像叶绿素浓度反演的理论、方法与实验，对水域叶绿素浓度反演的原理和方法进行了概括和总结，重点讲解了 TM 影像叶绿素 a 浓度经验法反演方法与实验、MODIS 影像叶绿素 a 浓度半经验法反演方法与实验。第五章介绍了热红外遥感影像地表温度反演的理论、方法和实验，对遥感地面温度反演的原理和方法进行了概括和总结，重点讲解了单窗算法地表温度反演的方法与实验，包括影像的辐射定标、大气校正、影像分类、计算植被覆盖度、地表比辐射率、亮度温度以及地表温度反演等。第六章介绍了 MODIS 影像气溶胶光学厚度反演的理论、方法和实验，对遥感气溶胶光学厚度反演的原理和方法进行了概括和总结，重点介绍了基于 6S 模型的气溶胶光学厚度反演的方法与实验，包括利用 VS 程序设计实现暗目标提取、6S 模型调用、查找表生成以及光学厚度匹配反演等。第七章介绍了利用 SAR 影像提取 DEM 的理

论、方法和实验,对利用 SAR 影像提取 DEM 的原理和方法进行了概括和总结,重点讲解了利用 SAR 立体像对提取 DEM 的方法与实验,包括轨道纠正、影像裁剪、去噪滤波、影像配准、影像匹配、生成 DEM 等。第八章介绍了高光谱影像分类的理论、方法和实验,对高光谱影像分类的原理和方法进行了概括和总结,重点讲解了基于 PPI 端元提取的高光谱影像分类方法与实验,包括高光谱影像的辐射校正、最小噪声分离变换、计算 PPI 指数、N 维可视化端元提取、端元波谱分析和影像分类等。最后对遥感信息工程国家级实验教学示范中心的建设与教学改革做了介绍,总结了基于工程教育认证的遥感综合实验课程的改革与创新。

本书是教育部首批新工科研究与实践项目“面向新工科的遥感信息工程实践教学体系与实践平台构建”、武汉大学教学研究项目“新工科背景下遥感综合实习的创新教学研究”(项目编号 2018JG074)、湖北省教学研究项目“基于 CDIO 模式的遥感实践教学改革研究”(项目编号 2013016)和“遥感信息工程国家级实验教学示范中心”的成果,全书由李刚编写完成。本书既可以作为遥感、GIS、测绘等专业本科生学习遥感技术的教材,也可供从事遥感应用的人员参考。本书在编写过程中参考了相关网站的电子资料以及科技著作和论文,有些未能在参考文献中一一列出,在此一并表示衷心感谢。

由于笔者水平和时间有限,书中不足之处在所难免,恳请读者批评指正,使本书能够得到逐步改进和完善。

李 刚

2018 年 7 月

目 录

第一章 遥感影像处理编程基础.....	1
1.1 VS 编程中 GDAL 库和 OpenCV 库的配置	1
1.1.1 建立 MFC 应用程序.....	1
1.1.2 配置 GDAL 库	3
1.1.3 配置 OpenCV 库	4
1.2 利用 GDAL 库读写显示遥感影像实验	6
1.2.1 建立影像类	6
1.2.2 读取影像文件	7
1.2.3 显示影像文件.....	12
1.2.4 存储影像文件.....	13
1.3 利用 OpenCV 读写显示图像实验	15
1.3.1 创建 Mat 对象.....	15
1.3.2 访问 Mat 元素.....	17
1.3.3 Mat 的基本操作	18
1.3.4 图像的读写显示.....	19
第二章 遥感影像变化检测	20
2.1 遥感变化检测概述.....	20
2.1.1 遥感变化检测原理.....	20
2.1.2 遥感变化检测方法.....	21
2.2 基于特征差异的变化检测.....	22
2.2.1 光谱特征变化检测.....	22
2.2.2 纹理特征变化检测.....	24
2.3 基于特征差异的变化检测实验.....	26
2.3.1 基于主分量变换的光谱特征变化检测实验.....	27
2.3.2 基于 EM 算法的纹理特征变化检测实验	34
2.4 分类比较法变化检测.....	42
2.4.1 支持向量机分类.....	42
2.4.2 神经网络分类.....	43
2.4.3 最大似然分类.....	44

2.4.4 分类比较法变化检测实现	45
2.5 分类比较法变化检测实验	45
2.5.1 影像几何配准	46
2.5.2 影像裁剪	50
2.5.3 影像融合	51
2.5.4 影像监督分类	53
2.5.5 分类后处理	56
2.5.6 分类精度评定	58
2.5.7 分类比较法变化检测	60
2.5.8 变化检测精度评定	62
第三章 面向对象的遥感影像信息提取	69
3.1 面向对象的信息提取概述	69
3.2 多尺度影像分割方法	70
3.3 多尺度影像分割实验	72
3.3.1 影像多尺度分割	72
3.3.2 创建影像对象层	75
3.3.3 分割对象合并	76
3.4 面向对象特征的信息提取方法	78
3.4.1 面向对象影像解译的常用特征	79
3.4.2 对象特征显示	82
3.4.3 自定义特征	84
3.4.4 面向对象特征的信息提取	85
3.5 面向对象特征的信息提取实验	85
3.5.1 确定信息提取类型	86
3.5.2 确定分割尺度	86
3.5.3 选择或自定义特征	87
3.5.4 确定特征阈值	88
3.5.5 阈值法信息提取	89
3.6 面向对象分类的信息提取方法	91
3.6.1 最近邻分类	91
3.6.2 隶属度分类	94
3.6.3 决策树分类	96
3.6.4 SVM 分类	97
3.7 面向对象分类的信息提取实验	98
3.7.1 最近邻法分类实验	99
3.7.2 隶属度函数法分类实验	106

3.7.3 决策树分类实验	118
3.8 面向对象的变化信息提取方法	122
3.8.1 面向对象的特征差异法变化信息提取	122
3.8.2 面向对象的分类比较法变化信息提取	123
3.9 面向对象的变化信息提取实验	124
3.9.1 面向对象特征差异的变化信息提取实验	124
3.9.2 基于对象分类比较的变化信息提取实验	130
第四章 多光谱遥感影像叶绿素浓度反演	140
4.1 遥感影像叶绿素浓度反演概述	140
4.1.1 叶绿素的光谱特性	140
4.1.2 叶绿素浓度反演建模的理论基础	141
4.2 水域叶绿素浓度反演方法	141
4.2.1 叶绿素浓度反演方法分类	141
4.2.2 常用的叶绿素浓度反演方法	142
4.3 TM 影像叶绿素 a 浓度经验法反演实验	145
4.3.1 TM 影像几何纠正	145
4.3.2 几何纠正影像辐射定标	145
4.3.3 定标影像 FLAASH 大气校正	147
4.3.4 地面实测数据异常检测	150
4.3.5 建立叶绿素浓度反演模型	150
4.3.6 水域叶绿素浓度反演	153
4.4 MODIS 影像叶绿素 a 浓度半经验法反演实验	160
4.4.1 HDF 格式介绍	160
4.4.2 MODIS 影像辐射定标	160
4.4.3 MODIS 影像大气校正	160
4.4.4 MODIS 1B 影像自带经纬度的几何纠正	162
4.4.5 地面实测数据异常检测	168
4.4.6 利用 MODIS 影像建立三波段模型	168
4.4.7 水域叶绿素浓度反演	169
第五章 热红外遥感影像地表温度反演	172
5.1 遥感影像地表温度反演概述	172
5.1.1 遥感地面温度反演的基本理论	172
5.1.2 遥感地面温度反演的方法	174
5.2 遥感影像单通道法地表温度反演	174
5.2.1 单窗算法地表温度反演模型	175

5.2.2	地表比辐射率	176
5.2.3	亮度温度	177
5.2.4	大气透射率	178
5.2.5	大气平均作用温度	178
5.3	遥感影像单窗法地表温度反演实验	178
5.3.1	热红外波段辐射定标	179
5.3.2	多光谱波段大气校正	180
5.3.3	影像分类	181
5.3.4	计算 NDVI 与植被覆盖度	182
5.3.5	计算地表比辐射率	183
5.3.6	计算大气透射率	185
5.3.7	计算大气平均作用温度	186
5.3.8	计算亮度温度	186
5.3.9	地表温度反演	187
5.3.10	获取各类地物反演温度图	189
 第六章 MODIS 影像气溶胶光学厚度反演		192
6.1	遥感影像气溶胶光学厚度反演概述	192
6.1.1	大气气溶胶的概念	192
6.1.2	气溶胶光学厚度反演原理	192
6.1.3	遥感气溶胶反演方法	193
6.2	基于 6S 模型和暗像元的气溶胶光学厚度反演方法	195
6.2.1	6S 辐射传输模型	195
6.2.2	暗像元反演法	196
6.2.3	气溶胶光学厚度反演	197
6.3	基于 6S 模型的气溶胶光学厚度反演实验	198
6.3.1	数据预处理	199
6.3.2	提取暗目标	202
6.3.3	6S 程序参数设置	204
6.3.4	生成查找表	205
6.3.5	查找表光学厚度匹配	209
 第七章 利用 SAR 影像提取 DEM		214
7.1	利用 SAR 影像提取 DEM 概述	214
7.1.1	SAR 成像原理	214
7.1.2	SAR 影像提取 DEM 原理	214
7.2	利用 SAR 立体像对提取 DEM 方法	216

7.2.1	SAR 立体像对的视差	216
7.2.2	SAR 立体像对的基高比	217
7.2.3	SAR 立体测量获取 DEM	217
7.3	利用 SAR 立体像对提取 DEM 实验	217
7.3.1	输入 SAR 立体像对	218
7.3.2	轨道纠正	218
7.3.3	影像裁剪	220
7.3.4	去噪滤波	221
7.3.5	降低分辨率	222
7.3.6	影像配准	222
7.3.7	检查配准精度	226
7.3.8	约束处理	227
7.3.9	影像匹配	228
7.3.10	降低分辨率	230
7.3.11	生成 DEM	231
第八章 基于 PPI 端元提取的高光谱影像分类		234
8.1	高光谱影像分类概述	234
8.1.1	高光谱数据的特点	234
8.1.2	高光谱数据的表示	235
8.1.3	高光谱数据分类	236
8.2	基于 PPI 端元提取的高光谱影像分类方法	239
8.2.1	端元提取	239
8.2.2	最小噪声分离	240
8.2.3	PPI 端元提取	241
8.2.4	端元波谱识别	242
8.2.5	像素分类	242
8.3	基于 PPI 端元提取的高光谱影像分类实验	243
8.3.1	辐射校正	243
8.3.2	最小噪声分离	244
8.3.3	计算 PPI 指数	246
8.3.4	N 维可视化端元提取	248
8.3.5	端元波谱分析	253
8.3.6	影像分类	256

参考文献..... 259

附录 遥感信息工程国家级实验教学示范中心介绍..... 261

 依托国家特色专业和卓越计划 建设示范中心..... 261

 武汉大学遥感信息工程国家级实验教学示范中心创新型实验教学改革..... 269

 基于工程教育认证的“遥感应用综合实习”课程改革与创新 275

第一章 遥感影像处理编程基础

1.1 VS 编程中 GDAL 库和 OpenCV 库的配置

Visual Studio 是微软公司推出的开发工具包系列产品,是目前最流行的 Windows 平台应用程序开发环境。Visual Studio 2010 对 C++新标准 C++0x 支持,引进的 C++新特性带来了 C++性能与效率的更大提升。

GDAL(Geospatial Data Abstraction Library)是一个在 X/MIT 许可协议下的开源栅格空间数据转换库,它利用抽象数据模型来表达所支持的各种文件格式,抽象数据模型包括数据集(dataset)、坐标系统(coordinate system)、仿射地理坐标转换(Affine Geo Transform)、大地控制点(GCPs)、元数据(Metadata)、栅格波段(Raster Band)、颜色表(Color Table)、子数据集域(Subdatasets Domain)、图像结构域(Image_Structure Domain)、XML 域(XML: Domains)等。GDAL 提供对多种栅格数据的支持,包括 Arc/Info ASCII Grid(asc)、GeoTiff(tiff)、Erdas Imagine Images(img)、ASCII DEM(dem)等格式。

OpenCV 是开源计算机视觉库,由 C++语言编写,它的主要接口也是 C++语言,实现了图像处理和计算机视觉方面的很多通用算法。OpenCV 拥有包括 500 多个 C/C++函数的跨平台的中、高层 API。作为一个基本的计算机视觉、图像处理和模式识别的开源项目,OpenCV 可以直接应用于很多领域,如物体识别、图像处理、人脸识别、动作识别、运动跟踪、机器人、人机互动等。

1.1.1 建立 MFC 应用程序

启动 VS2010 打开“新建项目”窗口,选择“MFC 应用程序”,输入项目名称 CDTest,如图 1.1.1 所示。

单击“确定”按钮,按照“MFC 应用程序向导”,单击“下一步”按钮直到生成类窗口。在视图类 CCDTestView 的“基类”中选择 CScrollView 类,使视图客户区支持滚动条,以能完整显示超过绘图客户区尺寸的图像,如图 1.1.2 所示。

单击“完成”按钮,即创建了一个 MFC 应用程序。MFC 文档/视图结构的应用程序至少包含:

① CCDTestApp 类。CCDTestApp 类是 CWinAppEx 的派生类,CCDTestApp 类对象负责整个应用程序的管理,按消息映射网络分配消息给它的所有子程序。

② CMainFrame 类。CMainFrame 类是 CMDIFrameWndEx 类的派生类,CMainFrame 类对象是程序的主窗体,包含菜单、工具栏、状态栏、视图等。



图 1.1.1 新建项目

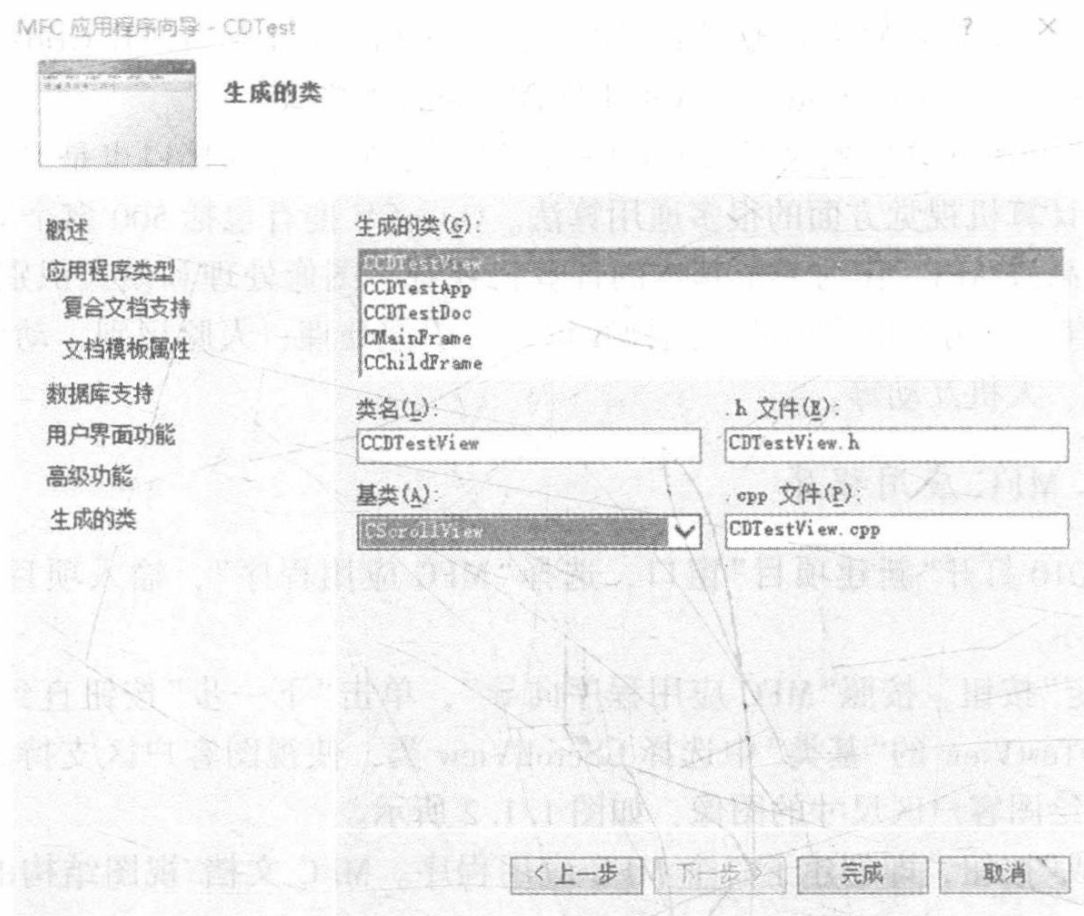


图 1.1.2 MFC 应用程序向导

③ CCDTestDoc 类。CCDTestDoc 类是 CDocument 类的派生类，CCDTestDoc 类对象存储应用程序的数据，并把这些信息提供给应用程序的其他部分。

④ CCDTestView 类。CCDTestView 类是 CScrollView 类的派生类，CCDTestView 类对象对应框架窗口客户区，接受用户对应用程序的输入，并显示相关联的文档数据。

MFC 多文档视图结构可以处理多个文档，每个文档至少对应一个关联视图。视图只能与一个文档相关联。文档用于保存数据，视图用来显示数据。文档模板维护文档、视图之间的关系，文档视图结构在开发大型软件项目时比较方便。

1.1.2 配置 GDAL 库

GDAL 是一个操作各种栅格地理数据格式的开源栅格空间数据转换库。已经编译好的 GDAL 库中包含 include、lib、bin 三个文件夹。将 include 文件夹、lib 文件夹复制到当前新建项目目录下，将 bin 目录下的 gdal19.dll 复制到 Debug 目录下。在 VS2010 项目界面中点击“视图”→“解决方案资源管理器”，在打开的“解决方案资源管理器”中用鼠标右键点击项目名称“CDTest”，选择“属性”后打开“CDTest 属性页”窗口。点击“VC++目录”，在“包含目录”中添加 GDAL 的 include 文件夹，在“库目录”中添加 GDAL 的 lib 文件夹，如图 1.1.3 所示。

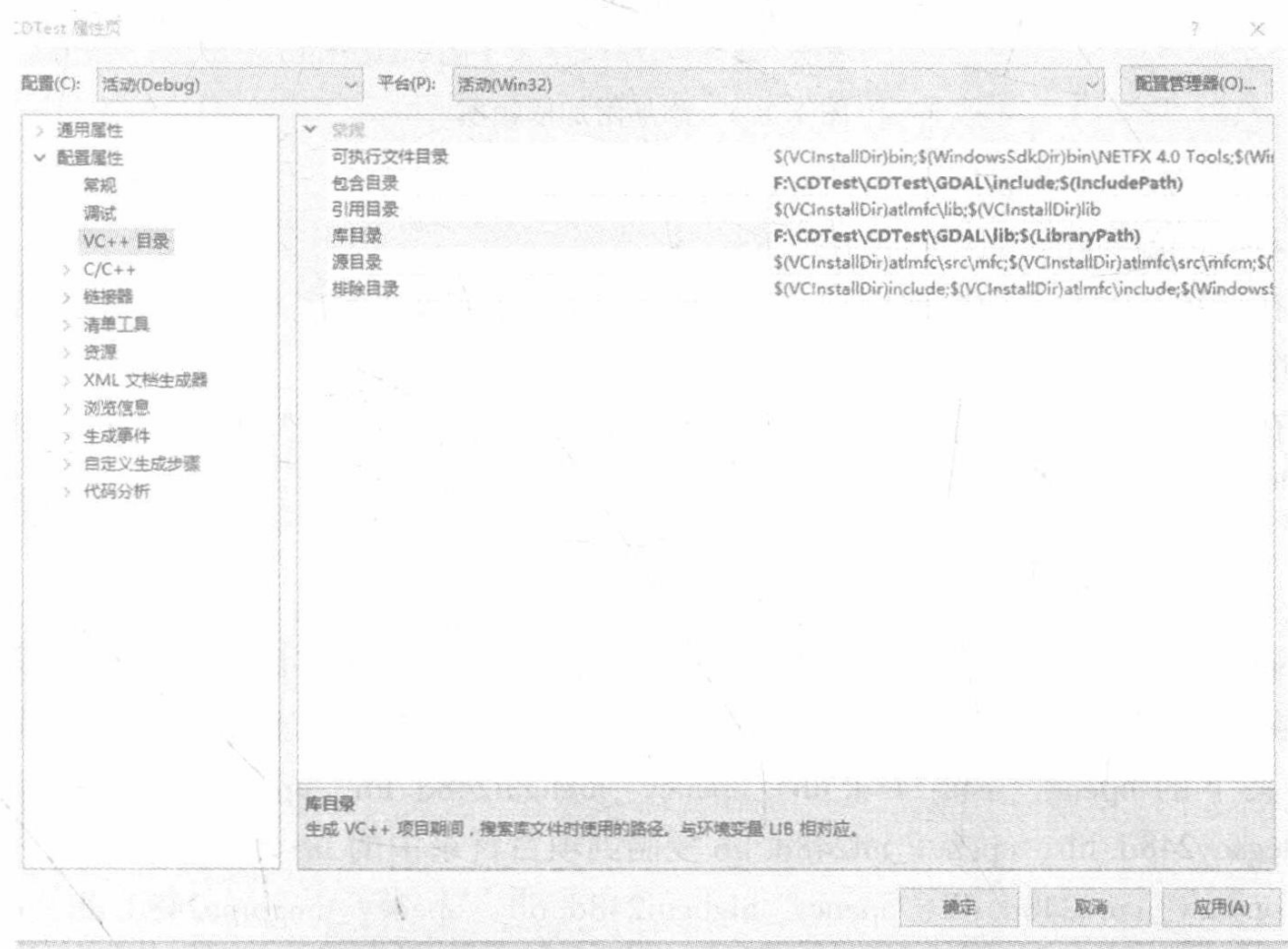


图 1.1.3 “VC++目录”设置

单击“应用”、“确定”按钮后，在“CDTest 属性页”窗口单击“链接器”→“输入”，在“附加依赖项”中添加 gdal_i.lib，如图 1.1.4 所示。

在运用 GDAL 开源库对影像读写之前，需要注意三个问题：

① 在工程中包括 GDAL 开源库的头文件，在需要用到 GDAL 的程序中添加以下引用：



图 1.1.4 添加附加依赖项

#include<gdal. h>、#include<gdal_priv. h>。

② 在调用 GDAL 函数库前添加 GDALAllRegister() 函数，实现对 GDAL 开源库所有已知驱动的注册。

③ 在读取中文路径的影像文件时，添加 CPLSetConfigOption(" GDAL_FILENAME_IS_UTF8", " NO")，实现对中文路径的支持。

1.1.3 配置 OpenCV 库

OpenCV 是基于 C++实现的强大的图形图像处理库，包含很多图像处理和机器学习的工具函数。将已编译好的 OpenCV 库中的 include 文件夹复制到当前新建工程目录下，将 lib 文件夹下的 opencv_core248d. lib、opencv_highgui248d. lib、opencv_imgproc248d. lib、opencv_legacy248d. lib、opencv_ml248d. lib 复制到项目目录中的 lib 文件夹中，将 bin 文件夹中的 opencv_core248d. dll、opencv_highgui248d. dll、opencv_imgproc248d. dll、opencv_legacy248d. dll、opencv_ml248d. dll 复制到 Debug 目录下。在“解决方案资源管理器”中用鼠标右键点击项目名称“CDTest”，选择“属性”后打开“CDTest 属性页”窗口。点击“VC++ 目录”，在“包含目录”中添加 include、include \ opencv、include \ opencv2，在“库目录”中添加 lib 文件夹，如图 1.1.5 所示。

单击“应用”、“确定”按钮后，在“CDTest 属性页”窗口单击“链接器”→“输入”，在“附加依赖项”中添加 opencv_core248d. lib、opencv_highgui248d. lib、opencv_imgproc248d. lib、opencv_legacy248d. lib、opencv_ml248d. lib，如图 1.1.6 所示。

