

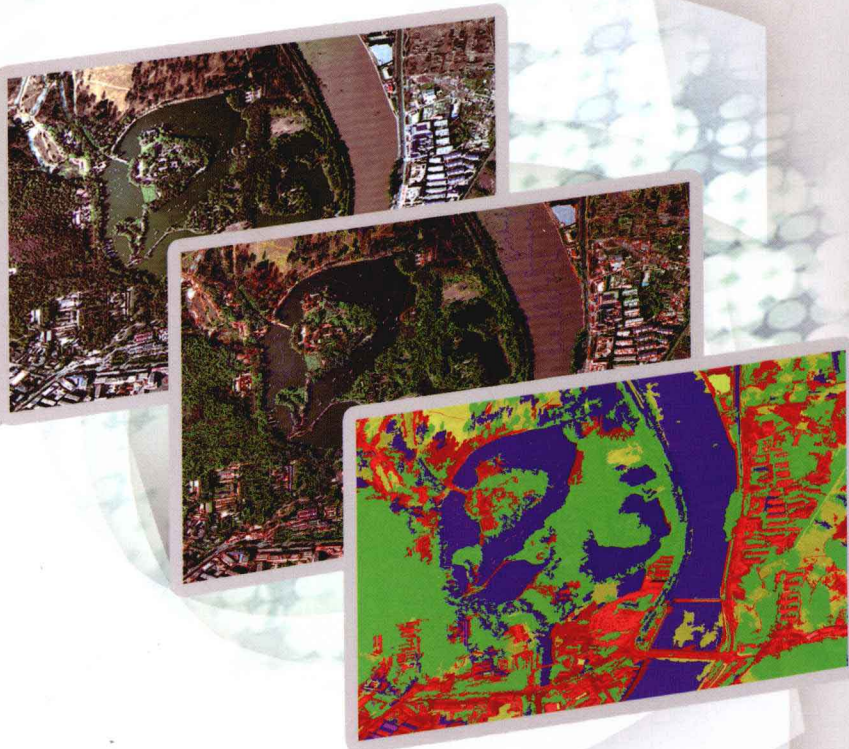


地理信息系统理论与应用丛书

空间信息技术原理及其应用

(上册)

● 赵忠明 周天颖 严泰来 等 编著



科学出版社

地理信息系统理论与应用丛书

空间信息技术原理及其应用 (上册)

赵忠明 周天颖 严泰来 等 编著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是系统阐述地理广域空间信息技术原理以及应用的专业书籍。本书首先介绍了空间信息技术的内涵、科学意义,然后对数字表达地理信息的理论及方法、遥感图像成像原理、图像处理方法、全球定位技术原理以及地理信息系统技术等内容做了较系统深入的阐述,并对部分技术的底层开发做了介绍。

本书是海峡两岸三家单位合作编著,集众学者所长,以实际研究为基础,理论阐述系统、深入浅出,具有诸多创新,海峡两岸分别以中文简体和繁体两种版本出版,可作为地理信息工程、遥感以及相关专业硕士、博士的教材,也可供相关专业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

空间信息技术原理及其应用. 上册/赵忠明等编著. —北京:科学出版社,2013.1

(地理信息系统理论与应用丛书)

ISBN 978-7-03-036492-0

I. ①空… II. ①赵… III. ①空间信息技术 IV. ①P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 012644 号

责任编辑:朱海燕 韦 沁 吕晨旭 / 责任校对:郑金红

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:王 浩

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

*

2013 年 4 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2013 年 4 月第一次印刷 印张:23 1/4

字数:530 000

定价:88.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

本书作者

赵忠明	周天颖	严泰来	杨龙士	洪本善
张晓东	张超	杨建宇	王鹏新	黄健熙
汪承义	黄碧慧	孟瑜	黄青青	陈静波
杨健	穆青云	叶美伶		

序 一

当今世界已经进入信息化时代。继农耕革命、工业革命之后,信息革命作为“第三次浪潮”,深刻地影响和改变着人类社会的生产和生活方式。在现代信息技术手段下,“可上九天揽月,可下五洋捉鳖”早已不再是遥不可及的梦想。尤其是空间信息技术的发展,为人类从地球以外观测地球、整体性与多层次深入观测地球带来了必要条件,不仅极大地克服了时间与空间的障碍,将浩瀚的宇宙与漫长的历史信息容纳在伸手可触的计算机之中;而且极大地缩小了国家与国家、人群与人群之间的距离,将偌大的地球变成了“狭小”的地球村,极大地便利了人类交往、社会发展和文明进步。在引发人类社会和经济结构质的变革与飞跃的同时,空间信息技术也为缓解人类社会所面临的能源匮乏、环境恶化、灾害频发以及人口增长等生存压力与严峻挑战,提供了技术上的可能与支撑。

近年来,中国大陆在空间信息技术发展及应用上取得了巨大的成就。从成功发射了载人宇宙飞船,在探测宇宙技术进程上迈出了关键的一步,到完成了1:25万比例 960 万平方公里全境数字化地形图的制作工程,为国土信息化管理奠定坚实的基础。从发射全球定位“北斗”系列卫星、实现有自主产权的地球精确定位测量,到成功发射并运行“嫦娥”对月观测遥感卫星,开始月球探测计划的第一步;从研制并行式“银河”巨型计算机,在运行速度和数据存储量等多项指标上达到世界第一,到运用云计算技术,在网上数据处理与数据传输上走到世界前列,再到发射“天宫”一号空间试验站、实现与另一艘宇宙飞船的精准对接,成为世界上掌握这一技术的第三个国家。所有这些科学成就为中国乃至世界的现代科学技术发展做出了重大贡献。

在漫长的人类科技和文明发展史上,中华民族曾以造纸术、指南针、火药、活字印刷术等四大发明丰富了人类文明的宝库,推动了社会发展的进步,并据此成为文明古国的重要标志。未来世界的竞争,一定程度上将是以空间信息技术等为代表的高新科技和创新能力的竞争。在空间信息技术原理及应用上,海峡两岸互有优势,各具特色,为了更好地取长补短,相得益彰,海峡两岸的学者走到一起,精诚合作,经过数年的努力,完成了《空间信息技术原理及其应用》上册的写作任务。

这不仅为两岸高等学校相关专业提供了高层次的技术专著,具有重要的学术价值,而且通过共同编著,两岸学者加深了了解,沟通了感情,互通了有无。我们有理由相信,在两岸同胞共同努力下,中华民族的复兴将是计日程功的伟业,中华民族曾经为人类的发展做出过巨大贡献,也一定会继续为人类发展做出更大贡献!

是为序。

海峡两岸关系协会会长 **陈云林**

2012 年 9 月

序 二

当今世界乃是信息之世界,举凡国土规划、社会管理、企事业经营决策,以至于大众个人日常生活之料理、工具之采购无不需要信息。资料搜集、信息撷取以及信息分析需要以计算机技术为内核的信息技术。信息以及信息技术成为人们生产、生活须臾不可缺少的工具与智慧。在诸多信息以及信息技术中,尤以空间信息及空间信息技术与人们生活、生产乃至社会发展关系密切。因为任何的生活、生产都需要空间环境。

信息技术深刻地改变世界。从人们的移动电话到卫星电视;从电子图书到三维数值地图;从自动机械到智慧机器人,透过信息技术将浩瀚的世界容纳在不盈一尺甚至方寸大小的电脑之中,将海量的信息显示在计算机荧幕之上。在人们惊叹世界科学技术发展之迅速、精神与物质之富有的同时,深感人类正在受到自然环境多方的威胁,诸如地震、台风、旱涝甚至污染、病疫等等,缓解这些愈演愈烈的威胁期待信息技术、特别是空间信息技术的支援。

台湾近年来信息技术发展很快,在计算机硬件方面,台湾生产的晶片已占世界产量的80%,独占该产业世界之鳌头;基于云计算(cloud computing)的计算机网络技术在台湾深入普及到各个行业领域,大幅度提升了行业间的数据交流、信息分析乃至经营管理、科学决策之品质。2004年,台湾发射了“福卫二号”遥感卫星,分辨率2m,达到了当时的世界先进技术水平。2005年台湾土地管理部门完成了全台湾的地籍调查,将包括门牌号码在内的土地产权、产籍等诸多巨额土地资产信息数码化,土地管理信息化深入到家家户户。台湾现已成为世界计算机硬体以及软体的主要基地之一。计算机信息业极大地推动了台湾经济的全面发展,近几年来,台湾在经济徘徊之后进入加速期,年增长率达到4%以上。更由于云计算技术的发展,自2012年起,未来在交通领域投注大量经费用于交通云之建设。更令人兴奋的是,2013年台湾即将发射的“福卫五号”,以更先进的技术贡献未来的对地观测甚至月球观测。

两岸共同编著、出版的《空间信息技术原理及其应用》一书完成了一件好事,不仅为两岸高等教育、科技发展提供了一本高水准的教材和参考书籍,而且沟通

了两岸科技同仁的感情。这里我要向本书的作者们表示诚挚的敬意和感激,祝贺本书在台北与北京以繁体字与简体字两种版本同时出版,感谢专书的作者们为推进两岸学术交流付出的努力和辛劳。我们期待更多的这样的著述出版发行,能有更多更深的交流和合作。仅略缀数语,以志贺忱。

财团法人海峡交流基金会董事长

江为坤

2012年9月

前言

现代社会是一个高度信息化的社会,而在纷繁、众多的信息中,空间信息是其中主要的、起着支撑作用的信息之一,已经成为支撑与推动现代社会运行与发展的主要技术之一。当前,空间信息技术已经深入到现代社会的各个层面。从科学研究、工农业生产,到人们的日常生活、社会活动,如宇宙探测、地学研究、精密机械制造及精准农业生产,直到日常娱乐、体育活动等,都存在着空间信息技术的支持与应用。

空间信息技术并非现代社会独有的技术。事实上,自人类进入文明社会以来,就有空间信息技术的雏形,如古人观测天象、研究气象,就依靠了地球空间信息技术的支持。只是当时的空间信息技术没有计算机的支持,没有将这门技术研究归纳形成体系,构成完整的技术系统。随着人类社会的发展,空间信息技术逐渐形成包含众多科学技术的技术。生活在现代社会的人们,自觉或不自觉地都在使用空间信息技术,享受着这门技术提供的诸多信息,如气象信息、方位信息、三维动画影像等。

本书分为上下两册。上册为理论基础,主要论述遥感、全球定位系统及地理信息系统的技术原理,包括地物辐射原理、光谱辐射、大气效应、遥感卫星运行及扫描成像、色度学、遥感图像处理、无线电远程测距定位、地图投影、地表空间数字表达、空间分析、数字地图输出等,内容涵盖了现代空间信息技术及应用的基本原理,在理论上为该门技术的各种应用奠定较为深厚的基础。下册为技术应用,主要论述资源管理、土地资产管理、农业生产、防灾减灾、城乡建设、运输车辆管理、智能化生活科技等诸多方面的实际应用;下册在应用理念、技术方法上进行较深入的论述,对于应用涉及到的数理统计学、应用模型、计算机网络与云计算等知识,在下册开始作为应用基础进行介绍。本书旨在为空间信息技术专业的博士、硕士研究生提供综合性的基础教材,为相关专业的研究人员提供必要的基础知识与技术。

本书由海峡两岸三家单位——中国科学院遥感应用研究所、逢甲大学地理资讯系统研究中心、中国农业大学信息与电气工程学院共同编著完成。上述三家单位都是从事现代空间信息技术的专业研究和教学机构,都是海峡两岸在该门技术引进与创立之初就从事研究与应用的单位,基本上代表了海峡两岸研究与应用的较高技术水平。多年来,三家单位在技术研究与系统研制、与相关管理部门结合,着力于技术开发,进行了大量工作,获得了丰硕的研究成果,在研究生培养与教学上积累了丰富的经验。本书是多年研究成果与教学经验的总结,其中包含一些带有创新性的成果。比如,对于雷达遥感“叠掩”、“顶点位移”现象的数学解析;遥感三个分辨率相互制约的分析;遥感影像中的薄云及阴影处理;地理信息系统的“空间数据结构”、“定积分割”算法、云计算与GIS的结合等等理论与技术问题都有创新性的介绍。

本书在空间信息技术领域第一次以高层次教科书的形式实现海峡两岸的学术合作,为实现两岸的文化融合与传承做了一点实事。本书以简体汉字和繁体汉字两种版本在海峡两岸同时出版发行,这件事的意义远不止于学术本身的意义。文化是维系民族凝聚力的灵魂,而科学技术是文化的重要组成部分,本书作者同仁为能有这样一个机会以实际行动弥补海峡两

岸文化裂痕、联络民族情感做一点实事而深感荣幸。

长期以来,空间信息技术的相关专业术语已产生较大差异,甚至技术思想存在差异。以两种版本出版本书,所需克服的困难不仅是简体字与繁体字间的相互转换的问题。本书力求以两岸读者所习惯的语言和深入浅出的表达方式阐述技术原理及其应用,书中部分字句会有所不同。

本书从构想到编写出版,参与的作者包括中国科学院遥感应用研究所、逢甲大学地理资讯系统研究中心、中国农业大学信息与电气工程学院等海峡两岸三家单位的教师、研究人员及研究生。在此同时感谢这三家单位中协助参与的人员:陈建胜、姬渊、郑义、贺东旭、武斌、孔赞珑、苏伟、杨扬、陈彦清、苏晓慧、陈建甫、简致远、吴政庭和林亚萱等。

由于空间信息技术的飞速发展,作者同仁们深感编写这本书在知识与技术方面的缺陷与不足,力不从心,许多本应属于该技术领域的知识与技术成果未能包含在内,叙述的能力与知识存在缺漏等诸多缺憾,恳请读者不吝赐教、批评指正。

编 者

2012年6月

目 录

序一

序二

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 空间信息技术的研究内容	1
1.2 空间信息科学与技术的发展历程	5
1.3 空间信息技术的理论与实际意义	9
1.4 空间信息技术的发展展望	13
1.5 小结	18
思考题	18
参考文献	19
第 2 章 遥感与地理信息系统的基本概念	20
2.1 数据、信息及空间信息	20
2.2 图像、图形及其数据表达	21
2.3 立体角	27
2.4 投影	29
2.5 地图学基本知识	31
2.6 空间数据的不确定性、元数据及数据的标准化	41
2.7 小结	45
思考题	46
参考文献	46
第 3 章 遥感探测技术原理	48
3.1 遥感探测技术工作模型	48
3.2 物体的辐射特性	51
3.3 大气效应	57
3.4 地物反射及其反射光谱特性	61
3.5 遥感影像的四种分辨率及其相互关系	65
3.6 定量遥感基本原理及遥感研究方法	70
3.7 小结	74
思考题	74
参考文献	75

第4章 遥感传感器及其载荷平台	76
4.1 航空摄影测量	76
4.2 合成孔径雷达	84
4.3 可见光-多光谱遥感与雷达遥感	95
4.4 无人机遥感平台	104
4.5 三维信息获取	110
4.6 几种主要卫星遥感影像数据	121
4.7 小结	127
思考题	128
参考文献	128
第5章 遥感数字影像处理基础	130
5.1 色度学与影像彩色合成概述	130
5.2 辐射校正	134
5.3 影像几何校正	138
5.4 影像增强	144
5.5 像元级图像数据融合	150
5.6 去云及去阴影技术	155
5.7 统程化处理	165
5.8 小结	165
思考题	166
参考文献	167
第6章 遥感数字影像识别与判译	169
6.1 遥感地物影像特征及其特征空间	169
6.2 影像分类原理与过程	179
6.3 面向对象图像处理技术	192
6.4 遥感数字影像识别与判译质量的衡量	198
6.5 小结	202
思考题	203
参考文献	204
第7章 全球定位系统	205
7.1 全球定位的基本概念与原理	205
7.2 测距原理	211
7.3 定位坐标解算	215
7.4 坐标系统转换	217
7.5 卫星轨道坐标系	221

7.6	差分式全球定位基本原理	224
7.7	全球定位系统的使用方法	226
7.8	小结	233
	思考题	234
	参考文献	235
第8章	空间信息的数字化表达	237
8.1	空间信息表达概述	237
8.2	空间信息矢量格式表达	239
8.3	空间信息网格格式表达	251
8.4	空间信息三角网格格式表达	263
8.5	空间信息时序化表达	266
8.6	小结	274
	思考题	275
	参考文献	276
第9章	地理信息系统主要功能及其实现(I)	277
9.1	图件数据的输入与处理	277
9.2	图形几何校正与坐标变换	284
9.3	图形搜索与捕捉	288
9.4	图形编辑与基本空间信息获取	292
9.5	离散样本点数据处理技术	298
9.6	小结	307
	思考题	308
	参考文献	309
第10章	地理信息系统功能及其实现(II)	311
10.1	缓冲区分析	311
10.2	地形分析	314
10.3	TIN 模型及空间信息全三维表达	319
10.4	路网分析	324
10.5	叠加分析	330
10.6	系统输出	335
10.7	云计算与地理信息系统	343
10.8	小结	352
	思考题	354
	参考文献	355

第1章 绪 论

1.1 空间信息技术的研究内容

空间信息技术(spatial information technology)是当代发展最快、影响国民经济发展与人们日常生活最为深刻、应用最为广泛的学科领域之一。广义上讲,凡是涉及空间信息数据,包括宇宙空间宏观、地球表面中观以人体或其他物体细部微观位置的信息数据,对其自动获取、存储、分析及信息提取的技术都称为空间信息技术。狭义上讲,地理空间信息数据的自动获取、存储、分析及信息提取的技术都称为空间信息技术。本书采用后者作为空间信息技术的定义,将研究内容主要限定在地理空间信息的范畴之内。

空间信息技术大致可以分为信息数据的采集、整合、分析及表达四个主要技术内容。遥感技术(remote sensing, RS)主要承担广域空间信息数据的采集与分析的任务;全球定位系统(global positioning system, GPS)主要承担地表物体精准空间位置数据的采集任务;地理信息系统(geographic information systems, GIS)主要承担信息数据的整合、存储、分析及输出表达的任务。由于这三项技术在技术上相互补充、结合紧密,在实际中常常整合使用,又因三项技术的英文名称中都带有“S”字样,因而将三项技术的集成整合称为“3S”技术。“3S”技术是学科发展以及应用深入的必然结果,这三项技术支撑起空间信息技术的主要内容。

1.1.1 遥感技术

遥感是人们用来对地(包括其他星体的星地)观测,并获取地球及宇宙其他星体表面时空信息的科学技术。它借助于太阳及地表辐射的电磁波或人工发射的电磁波经地表物体及大气多种形式的反射(散射)、折射及吸收作用,最终被传感器截获而获得地表面状信息。它是人们快速、大面积、非接触式地获取地表信息的技术手段,最终的产品是遥感影像(图 1-1),反映地表(包括大气)的面状信息。随着遥感应用的深入,遥感内涵不断扩大,一些用电磁波以非图像方式获取地面点状的信息或点状信息集合的技术,如地磁场测量、重力测量、高程测量、大气电离层多参数测量等遥测,测试结果的数据集以分布图的方式表达,这类技术也被纳入到遥感技术范围内,统称为“遥感技术”。

从学科内涵分析,遥感涵盖了辐射物理学、计量光谱学、天体运动学、测量学、数理统计、计算机图形学以及图像处理等学科的相关领域。它的外延可以延伸到农学、气象学、地质学、地理学、计量化学、天体物理学、信息学、电磁场论、电子技术等基础科学与应用科学的相关领域。尽管遥感是一门应用型的科学技术,但是它的理论性很强,是航空、航天技术、电子技术、计算机技术发展的结果,遥感受制于这些学科的发展,同时又对这些学科的发展起到重要的推动作用。



图 1-1 遥感影像图

ETM+ 全色波段,空间分辨率 15m

遥感在学科内容上,大致可划分为遥感物理基础、遥感技术基础、遥感影像处理、遥感应应用四大组成部分。遥感物理包括辐射理论、物理光学、几何光学、天体运动学、微波电磁场理论(雷达理论)等相关内容。遥感技术基础包括遥感平台及传感器技术。遥感物理基础及遥感技术基础为遥感影像的生成过程分析、遥感影像的几何误差与辐射误差的产生机理分析、遥感影像的目视解译与计算机解译奠定了理论与技术的基础。遥感影像处理包括光学图像处理与数字图像处理,包含色度学、图像几何和辐射校正、图像增强、数字滤波、数字图像融合、纹理分析、图像分类与识别等内容,这一部分为遥感与地理信息系统的衔接奠定了基础,同时也为这门技术的应用创造了条件。遥感技术也有独立的应用,其范围主要包括农业、林业、地质、气象、水利、国土资源管理、环境、海洋及军事等领域,这些领域各有不同的应用需求,因而在技术上各有其特点,涉及的理论也各有不同。

1.1.2 全球定位系统

全球定位系统是以无线电测距以及高精度授时为基础,在计算机支持下,在地球上的任何一个地点、任何一个时间自动获取点位三维坐标数据的一种技术手段。这项技术将当代的原子时钟技术、微电子技术、数字通信技术以及计算机技术集成在一起,充分利用卫星自控技术的成就,构建了可以覆盖全球的大地测量系统。它依靠与地球外层空间均匀分布的 24 颗卫星中的 4 颗或 4 颗以上的卫星联络,自动分辨测试仪器与各卫星的实时距离,通过实时计算,得到待测点的位置坐标数据。通过近 20 年的发展,其测试精度已达到米数量级,使用差

分全球定位系统(DGPS),定位精度可达到亚厘米数量级,测量速度可达到0.1s,而仪器设备却可小型轻便化达到500g以内,甚至可以像手表一样带在手腕上(图1-2)。



图 1-2 轻便实用化的全球定位系统

数据来源: <http://www.garmin.com.tw>

全球定位系统以测试准确、使用便捷、无需传统测量的通视条件和与计算机设有接口等技术优势,对传统的大地测量技术产生了巨大的冲击,其测试的数据不仅可以用来对遥感影像数据进行准确定位与校正,而且可以直接用来对各种地物,包括汽车、飞机等移动物体,进行实时精准定位,向地理信息系统提供准确数据。由于这项技术的加入,地图制作变得精准而简单,空间信息技术得以强有力地补充与完善,自动化、精准化、集成化的程度得以大幅度地提升。

1.1.3 地理信息系统

地理信息系统是整合遥感、全球定位系统及其他多种测绘技术于一体的计算机系统。它不是简单地将这些技术手段相加,而是以一种全新的组织形式将复杂的、海量的数据有序、有机地组织在一起,将时空地理信息定量、全方位、可视化地展示在人们面前,向人们提供时间与空间分析的功能,支持人们发现未知的知识与信息,对各种与地理相关的时空现象与事件做出科学合理的反应与分析。

地理信息系统是利用解析几何与数字拓扑学原理,按照计算机可以接受的方式,利用计算机大数据量存储管理和高速处理计算数据的功能,实现地理空间定量化分析的系统。地图学、计算机图形学、数据库(数据仓库)技术、网络通信技术是地理信息系统的技术基础,地理现象的可视化、量化以及和用户友好的界面是该系统的技术特点。该项技术向人们提供地表各种地物,包括自然地物如森林、草场、河流,以及人工建筑物的位置、面积、状态等自然属性和价值、权属等社会属性,从而将空间信息技术推向更深入、更广泛的实际应用层面。图1-3显示的是利用地理信息系统制作的数字化土地利用图,用户在系统支持下,点击鼠标,即可以读取图上每一地块的面积、土地利用的种类及权属状况等。

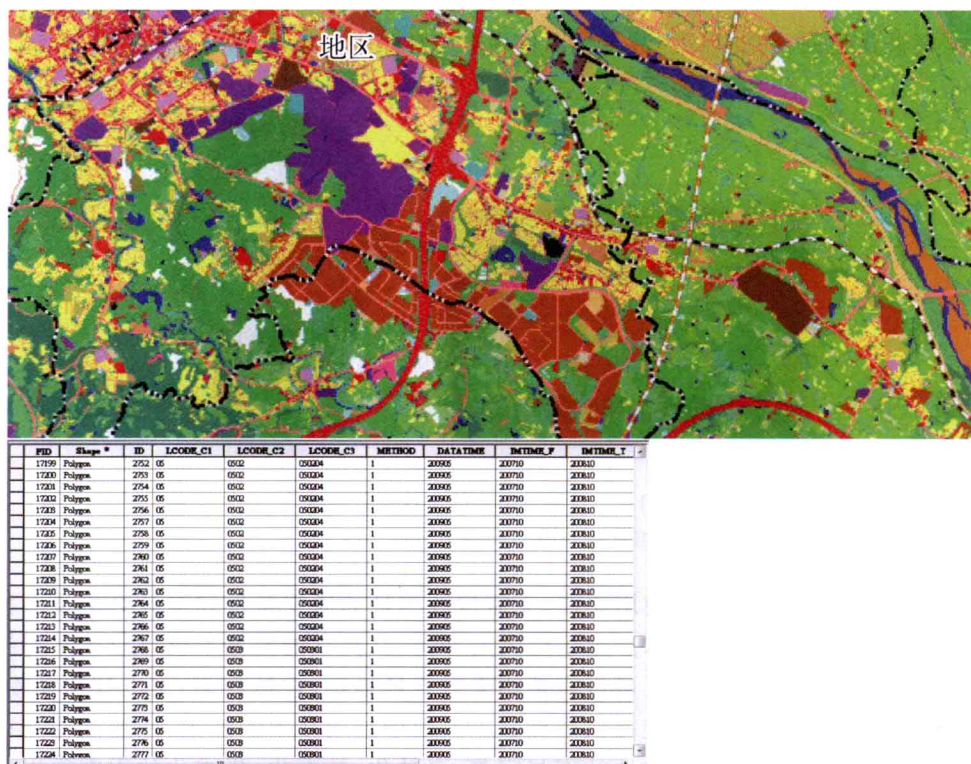


图 1-3 利用地理信息系统制作的土地利用图

数据来源: <http://lui.nls.gov.tw/LUWeb/AboutLU/AboutLU.aspx>

1.1.4 “3S”的技术集成

技术集成并不是几种技术的简单组合,而是将相关技术加以融合、相互配合、优势互补,充分将各个技术发挥到极致,以获取更好的应用效果。

遥感、全球定位系统和地理信息系统三项技术是自然地集成到一起的,它们的集成是功能互补、技术融合的有机集成;遥感技术以影像形式提供数据源;全球定位系统以离散点位的形式提供辅助信息源,并用来对遥感影像进行几何定位与校正;而地理信息系统则容纳前两项技术的数据成果外加其他数据,包括大量地物属性数据,加以统一管理,并进行空间的综合分析。三项技术的集成不仅将信息数据的采集、分析到输出全程系列化,而且可以在更深的层次上发现未知的信息。例如,使用经过全球定位系统校正过的遥感影像与地理信息系统制作的土壤类型分布线划地图进行叠加分析,不仅可以获知在不同类型的土壤上植被的分布特征,还可分析地形与地质环境对于土壤生成的影响。又如,中分辨率的遥感影像与地理信息系统制作的行政区划地图叠加,可以获得每一行政区内各种土地利用的类型、分布及面积,便于土地的科学管理。