

高等院校信息技术规划教材

3S技术基础

张军 涂丹 李国辉 编著



清华大学出版社

内 容 简 介

3S 技术基础的内容主要涉及地理信息系统、遥感、全球定位系统中的基本数学模型及其原理以及三者集成的框架。本书的特点是:以空间数据管理为目的,注重基本概念、数据特性和数学模型、工作原理的阐述。全书共分为 8 章,包括概论、坐标系统与时间系统、地理空间数据、遥感技术、遥感图像处理技术、卫星定位技术、地理信息系统以及 3S 技术的综合应用。

本书可以作为信息系统与信息管理、信息系统工程、电子信息和计算机类(非地理信息系统、遥感技术专业)各相关专业的本科生教材,也可供空间信息管理相关的研究、设计和工程开发人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

3S 技术基础 / 张军,涂丹,李国辉编著. —北京:清华大学出版社,2013.2

高等院校信息技术规划教材

ISBN 978-7-302-30722-8

I. ①3… II. ①张… ②涂… ③李… III. ①遥感技术—高等学校—教材 ②地理信息系统—高等学校—教材 ③全球定位系统—高等学校—教材 IV. ①TP7 ②P208 ③P228.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 278583 号

责任编辑:白立军 战晓雷

封面设计:常雪影

责任校对:白 蕾

责任印制:沈 露

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:22.25 字 数:516 千字

版 次:2013 年 2 月第 1 版 印 次:2013 年 2 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:39.00 元

产品编号:035695-01

3S 技术是遥感 (RS)、地理信息系统 (GIS) 和全球定位系统 (GPS) 有机地结合在一起的应用技术。RS 是大范围空间和环境信息获取和更新的重要手段, GPS 能够精确测量位置和实时获取运动实体的空间位置和时间, 而 GIS 是一种地理信息管理、分析和表现的信息系统。因此以 GIS 为核心的 3S 技术的集成, 构成了对空间数据进行实时采集、更新、处理、分析和管理的新技术及其应用领域。3S 技术和系统已经广泛应用于国防、军事和民用领域。过去虽然有独立的地理信息系统、全球定位系统和遥感原理等课程, 但是三者的结合和关联越来越紧密, 非地理信息系统、遥感信息处理专业的信息类学生需要了解有关 3S 技术方面的基本概念和术语, 掌握其中的基本技术原理和应用方式, 学习 3S 系统基本功能的操作和使用。过去, 信息类课程的教学内容多涉及字符数值类型的数据管理, 但是缺乏对 3S 空间数据的管理内容, 本书就是针对这个需求而撰写的。

本书的基本理念是知识学习与知识运用相结合。内容突出技术概念和原理的讲授, 让学生掌握基本的技术知识; 通过配套的实践教材 (另外出版) 来培养学生综合运用知识的能力。建议教师侧重从技术学习和 3S 技术综合运用的角度进行教学活动的设计和 实施, 介绍地理信息系统、遥感技术和全球定位系统的基本概念、原理和术语的含义, 并通过课程演示、上机和课程综合设计环节, 让学生掌握 3S 应用系统的基本操作和使用方法, 使得学生能够自主运用所学的知识, 培养动手能力和创新能力, 加深对课堂知识的理解。

希望学生通过本书及其课程的学习, 了解空间信息获取、处理、管理和操纵的整体框架, 掌握地理信息系统、遥感技术和全球定位技术的基本原理、技术概念和术语的含义, 并能够运用这些知识。

本书的讲义已经在新开设课程“3S 技术基础”中用过多次, 并经

过多次修改。但是由于时间匆忙,其中肯定还有一些错误和不足,我们将继续修改和完善本书的内容。随后我们还将编写与本书配套的实验教材。

在讲义编写过程中,参考了许多相关教材和书籍(见参考文献)以及相关网络精品课程的资料,在此对相关作者一并表示衷心的感谢。

作者

2012年10月于长沙

| | |
|------------------------------|----|
| 第 1 章 概论 | 1 |
| 1.1 3S 技术的基本概念 | 1 |
| 1.1.1 什么是地理信息系统 | 1 |
| 1.1.2 什么是全球定位系统 | 2 |
| 1.1.3 什么是遥感技术 | 3 |
| 1.1.4 什么是 3S 技术 | 4 |
| 1.2 3S 技术的发展 | 5 |
| 1.2.1 GIS 技术的发展 | 5 |
| 1.2.2 RS 技术的发展 | 7 |
| 1.2.3 GPS 技术的发展 | 9 |
| 1.2.4 3S 技术的发展 | 11 |
| 1.3 3S 系统的基本组成 | 14 |
| 1.3.1 3S 系统的组成 | 14 |
| 1.3.2 3S 系统涉及的关键技术 | 18 |
| 1.4 3S 技术的应用 | 19 |
| 1.5 本章小结 | 21 |
| 第 2 章 坐标系统与时间系统 | 22 |
| 2.1 地球及其空间模型 | 22 |
| 2.1.1 地球及其地理网格 | 22 |
| 2.1.2 地球空间模型 | 23 |
| 2.1.3 大地基准 | 25 |
| 2.2 天球及其天文基本概念 | 27 |
| 2.2.1 天球及其春分点 | 27 |
| 2.2.2 岁差与章动 | 28 |
| 2.3 地球坐标系统 | 29 |
| 2.3.1 空间直角坐标系统 | 29 |

| | | |
|--------------|---------------------|-----------|
| 2.3.2 | 大地坐标系统 | 30 |
| 2.3.3 | 地图投影 | 31 |
| 2.3.4 | 常用的地图投影及其坐标系统 | 33 |
| 2.4 | 天球坐标系统 | 39 |
| 2.4.1 | 地平坐标系统 | 39 |
| 2.4.2 | 赤道坐标系统 | 40 |
| 2.5 | 常用坐标系统简介 | 41 |
| 2.6 | 时间系统 | 43 |
| 2.6.1 | 世界时系统 | 44 |
| 2.6.2 | 历书时系统 | 45 |
| 2.6.3 | 原子时系统 | 46 |
| 2.6.4 | 协调世界时系统 | 46 |
| 2.6.5 | GPS 时系统 | 48 |
| 2.7 | 本章小结 | 49 |
| 第 3 章 | 地理空间数据 | 50 |
| 3.1 | 地理空间信息的描述 | 50 |
| 3.1.1 | 地图的概念 | 50 |
| 3.1.2 | 地理信息的表达 | 52 |
| 3.1.3 | 几何数据对地理空间的表达 | 55 |
| 3.1.4 | 遥感图像对地理空间的表达 | 55 |
| 3.2 | 矢量数据模型 | 57 |
| 3.2.1 | 地理要素的几何表示 | 57 |
| 3.2.2 | 拓扑关系 | 59 |
| 3.2.3 | 非拓扑关系 | 62 |
| 3.2.4 | 不规则三角网 | 62 |
| 3.3 | 栅格数据模型 | 64 |
| 3.3.1 | 地理要素的栅格表示 | 65 |
| 3.3.2 | 栅格数据的类型和结构 | 67 |
| 3.3.3 | 栅格数据的编码 | 70 |
| 3.4 | 栅格数据与矢量数据的集成 | 77 |
| 3.5 | 栅格数据与矢量数据的转换 | 78 |
| 3.5.1 | 矢量数据向栅格数据的转换 | 78 |
| 3.5.2 | 栅格数据向矢量数据的转换 | 81 |
| 3.6 | 本章小结 | 82 |
| 第 4 章 | 遥感技术 | 84 |
| 4.1 | 遥感基础 | 84 |

| | | |
|-------|---------------------|------------|
| 4.1.1 | 遥感技术的基本概念 | 84 |
| 4.1.2 | 遥感技术系统 | 89 |
| 4.1.3 | 遥感技术的分类和应用 | 91 |
| 4.1.4 | 遥感技术的展望 | 95 |
| 4.2 | 电磁波与遥感物理基础 | 96 |
| 4.2.1 | 电磁理论基础 | 96 |
| 4.2.2 | 遥感系统中电磁辐射能量的影响因素 | 100 |
| 4.2.3 | 太阳辐射对遥感的影响 | 101 |
| 4.2.4 | 大气对遥感的影响 | 103 |
| 4.2.5 | 地物目标的波谱特性 | 107 |
| 4.3 | 遥感传感器 | 113 |
| 4.3.1 | 传感器的基本组成与种类 | 113 |
| 4.3.2 | 摄影型传感器 | 115 |
| 4.3.3 | 扫描型传感器 | 119 |
| 4.3.4 | 微波传感器 | 122 |
| 4.3.5 | 遥感图像的性能指标 | 127 |
| 4.4 | 遥感平台 | 129 |
| 4.4.1 | 遥感平台的种类 | 129 |
| 4.4.2 | 遥感卫星 | 131 |
| 4.4.3 | 常用遥感卫星 | 134 |
| 4.5 | 本章小结 | 140 |
| | 参考文献 | 141 |
| | 第5章 遥感图像处理技术 | 142 |
| 5.1 | 遥感图像基础 | 142 |
| 5.1.1 | 遥感图像的数据表示 | 142 |
| 5.1.2 | 遥感图像处理的涵盖范围与分类 | 144 |
| 5.1.3 | 遥感图像数字处理的基础知识 | 146 |
| 5.1.4 | 遥感图像数字处理系统组成 | 151 |
| 5.2 | 遥感图像校正技术 | 153 |
| 5.2.1 | 遥感图像的辐射校正 | 153 |
| 5.2.2 | 遥感图像的几何校正 | 156 |
| 5.3 | 遥感图像增强技术 | 161 |
| 5.3.1 | 灰度修正 | 161 |
| 5.3.2 | 平滑与去噪技术 | 163 |
| 5.3.3 | 锐化 | 168 |

| | | |
|-------------------------|-------------------------|------------|
| 5.3.4 | 假彩色和伪假色 | 170 |
| 5.4 | 遥感图像镶嵌技术 | 170 |
| 5.4.1 | 遥感图像镶嵌技术处理流程 | 170 |
| 5.4.2 | 遥感图像自动配准技术 | 171 |
| 5.4.3 | 数字遥感图像镶嵌中的拼接缝处理方法 | 174 |
| 5.5 | 遥感图像融合技术 | 176 |
| 5.5.1 | 遥感图像融合技术基础 | 176 |
| 5.5.2 | 像素级遥感图像融合方法 | 177 |
| 5.5.3 | 图像融合的效果评价 | 179 |
| 5.6 | 遥感图像解译技术 | 180 |
| 5.6.1 | 遥感图像的解译标志 | 181 |
| 5.6.2 | 遥感图像目视解译流程 | 183 |
| 5.6.3 | 遥感图像分类原理与基本过程 | 184 |
| 5.6.4 | 遥感图像分类方法 | 186 |
| 5.7 | 本章小结 | 192 |
| 参考文献 | | 193 |
| 第6章 卫星定位技术 | | 194 |
| 6.1 | 卫星定位技术的发展 | 194 |
| 6.1.1 | 早期的卫星定位技术 | 194 |
| 6.1.2 | 子午卫星导航系统的应用及其缺陷 | 194 |
| 6.1.3 | GPS全球定位系统的建立 | 195 |
| 6.1.4 | GLONASS全球导航卫星系统 | 196 |
| 6.1.5 | 欧洲Galileo系统 | 197 |
| 6.1.6 | 双星导航定位系统Compass | 198 |
| 6.1.7 | 全球卫星导航系统 | 199 |
| 6.2 | GPS系统的组成和性能 | 200 |
| 6.2.1 | GPS系统的组成 | 200 |
| 6.2.2 | GPS系统的相关概念 | 202 |
| 6.2.3 | GPS系统的性能 | 212 |
| 6.3 | GPS定位原理 | 214 |
| 6.3.1 | 伪距的概念及伪距测量 | 215 |
| 6.3.2 | 载波相位测量 | 216 |
| 6.3.3 | GPS定位方法的其他概念 | 219 |
| 6.3.4 | GPS定位作业的主要方式 | 222 |
| 6.4 | GPS定位中的误差源 | 223 |

| | | |
|---------------------------|--------------------------|-----|
| 6.4.1 | 与 GPS 卫星有关的误差 | 223 |
| 6.4.2 | 与卫星信号传播有关的误差 | 224 |
| 6.4.3 | 与接收设备有关的误差 | 225 |
| 6.4.4 | 相对论效应 | 226 |
| 6.5 | GPS 定位技术的应用和发展 | 227 |
| 6.5.1 | GPS 卫星定位系统的应用特点 | 227 |
| 6.5.2 | 美国对 GPS 用户的限制性政策 | 227 |
| 6.5.3 | GPS 卫星定位系统的应用领域和实例 | 228 |
| 6.5.4 | GPS 卫星定位系统的发展 | 230 |
| 6.6 | 本章小结 | 231 |
| 参考文献 | | 233 |
| 第 7 章 地理信息系统 | | 234 |
| 7.1 | 地理信息系统及其组成 | 234 |
| 7.1.1 | 地理信息系统的概念 | 234 |
| 7.1.2 | 地理信息系统的组成 | 236 |
| 7.2 | 空间数据库技术 | 241 |
| 7.2.1 | 地理空间实体及其描述 | 241 |
| 7.2.2 | 数据库模型 | 242 |
| 7.2.3 | 空间数据库管理系统 | 246 |
| 7.3 | 地理数据的输入 | 250 |
| 7.3.1 | 空间数据的输入 | 250 |
| 7.3.2 | 属性数据输入 | 254 |
| 7.3.3 | 空间数据的编辑处理 | 257 |
| 7.3.4 | 几何变换 | 261 |
| 7.4 | 空间数据分析 | 268 |
| 7.4.1 | 空间数据探查与查询 | 268 |
| 7.4.2 | 空间数据的统计分析 | 271 |
| 7.4.3 | 基于数字高程模型的分析 | 275 |
| 7.4.4 | 空间数据的叠置分析 | 280 |
| 7.4.5 | 空间数据的缓冲区分析 | 283 |
| 7.4.6 | 空间插值分析 | 285 |
| 7.4.7 | 路径和网络分析 | 292 |
| 7.4.8 | 距离量算 | 300 |
| 7.5 | 本章小结 | 302 |

| | |
|-----------------------------------|------------|
| 参考文献 | 302 |
| 第 8 章 3S 技术的综合应用 | 304 |
| 8.1 3S 技术的集成框架 | 304 |
| 8.1.1 时间和空间表示 | 304 |
| 8.1.2 集成的系统框架 | 306 |
| 8.2 地理信息系统与遥感技术的集成 | 307 |
| 8.2.1 GIS 与 RS 功能的结合 | 307 |
| 8.2.2 遥感影像作为 GIS 的数据源 | 307 |
| 8.2.3 GIS 数据辅助遥感影像分析 | 308 |
| 8.2.4 遥感与 GIS 结合在城市分析中的应用举例 | 310 |
| 8.3 地理信息系统与全球定位系统的集成 | 312 |
| 8.3.1 GIS 与 GPS 的集成 | 312 |
| 8.3.2 GIS 与 GPS 集成的系统结构 | 313 |
| 8.3.3 汽车自动导航系统实例 | 314 |
| 8.3.4 车辆 GPS 实时监控系統实例 | 317 |
| 8.4 遥感技术与全球定位系统的集成 | 318 |
| 8.4.1 RS 与 GPS 的集成 | 318 |
| 8.4.2 集成 GPS 的机载三维遥感定位技术 | 319 |
| 8.5 3S 技术的综合集成应用 | 326 |
| 8.5.1 3S 综合集成技术 | 326 |
| 8.5.2 VISAT 系统 | 327 |
| 8.5.3 Google 地球 | 329 |
| 8.6 本章小结 | 337 |
| 参考文献 | 338 |
| 附录 中英文词汇对照 | 339 |
| 参考文献 | 344 |

概 论

什么是 GPS、RS 和 GIS

什么是 3S 技术

3S 集成的基本概念

数字地球的概念

典型应用中的 3S 核心技术

1.1 3S 技术的基本概念

所谓 3S,就是 3 种技术的统称。一个 S 是 GIS(Geographic^① Information System,地理信息系统),还有一个 S 是 GPS(Global Positioning System,全球定位系统),最后一个 S 是 RS(Remote Sensing,遥感技术)。我们把这 3 种技术用一个简称 3S 来表示,是因为随着技术的发展,这 3 种技术互相渗透、相互融合和集成。在与地球空间信息科学(geomatics)相关的技术和应用领域,3S 技术及其集成已经成为最基础的关键技术。因此,我们把这 3 种技术用统一的名称 3S 来表示。为了更好地理解 3S 技术,首先需要分别了解什么是 GIS、GPS 和 RS。

1.1.1 什么是地理信息系统

与地理位置有关的信息称为**地理信息**。信息总量中有 70%左右^②的信息是与地理位置有关的信息。这样的信息相当广泛,如耕地、林地、城镇和楼房建筑物的分布信息;道路、河流、海岸、人口、医院、学校、企事业单位、派出所、商店、加油站、机场、管线、井位、下水道等与位置有关的信息。这些用地理参照数据去描述的信息都属于地理信息。

准确地说,地理信息是用**地理参照数据**(geographically referenced data)来表示的。它描述和表示地球表面(包括大气层和较浅的地表下的空间)空间要素^③的位置、形状、大小、分布及其特征。现实世界中的物体具有定位、定性、时间和空间关系等特性。**定位**是

① Geographic 或 Geographical。

② 70%~80%,各个资料叙述的范围稍有不同。

③ 在一些文献中,其对应于地理要素。

指在已知的坐标系里空间目标都具有唯一的空间位置;定性是指有关空间目标的自然属性,它伴随着目标的地理位置;时间是指地理空间目标是随时间的变化而变化;空间关系一般用拓扑关系表示。地理参照数据有时也简称为地理空间数据(geospatial data)、地理数据(geographic data)等。

地理信息系统(GIS)就是一种管理地理参照数据的计算机信息系统,即一种采集、存储、查询、分析和显示地理参照数据的信息系统。广义上看,GIS 具有管理地理参照数据的数据库系统和一组数据操作工具。它能分门别类、分级分层地管理地理参照数据及其相关属性,还能对地理参照数据及其属性进行查询、修改、输出、更新、分析和可视化。GIS 由计算机和网络硬件、地理信息系统软件、空间数据库、分析应用模型、图形用户界面及系统人员组成。

1.1.2 什么是全球定位系统

GPS 是导航卫星测时与测距全球定位系统(Navigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System, NAVSTAR GPS)的简称,为导航、测量和 GIS 数据获取提供精确和灵活的定位功能。GPS 是一个中距离圆形轨道卫星导航系统(Global Navigation Satellite System, GNSS),作为一种现代定位方法,已在越来越多的领域取代了常规光学和电子测量和定位仪器。

GPS 定位将测绘定位技术从陆地和近海扩展到整个海洋和外层空间,从静态扩展到动态,从单点定位扩展到局部与广域差分定位^①,从事后处理扩展到实时(准实时)定位与导航,从绝对和相对精度扩展到米级(导航和地图绘制)、厘米级乃至亚毫米级(大地测绘定位),从而显著拓宽了定位技术的应用范围。

GPS 由美国国防部研制和维护,系统由处于 2 万千米高度的 6 个轨道平面中的 24 颗卫星、地面上的 1 个主控站、3 个数据注入站、5 个监测站和 GPS 接收机组成。该系统可以在任何时间,向地球上任何地方的用户提供高精度的位置、速度和时间信息。这比传统的测量定位和罗盘定位等先进得多。

该系统由美国政府于 20 世纪 70 年代开始研制,于 1994 年全面建成。使用者只需拥有 GPS 接收机,无须另外付费。GPS 信号分为民用的标准定位服务(Standard Positioning Service, SPS)和军用的精确定位服务(Precise Positioning Service, PPS)两类。由于 SPS 无须任何授权即可任意使用,原本美国因为担心敌对国家或组织会利用 SPS 对美国发动攻击,故在民用信号中人为地加入误差以降低其精确度,使其最终定位精确度在 100m 左右;军用的精度在 10m 以下。2000 年以后,克林顿政府决定取消对民用信号的干扰。因此,现在民用 GPS 也可以达到 10m 左右的定位精度。

全球定位系统具有以下特点:全天候,不受天气的影响;全球可用,覆盖率高

^① 广域差分 GPS(Wide Area Differential GPS)主要是以应对美国军方实施的有意降低 GPS 民用精度的选择性政策为背景的一种大范围差分 GPS 技术。广域差分 GPS 是利用分布在服务区内的参考站(网)监测全部可见 GPS 卫星,将监测数据通过通信链路传送至主站,主站用收集的数据计算出差分改正数和完好性信息,经格式编排后用通信链路发播给服务区内的用户。用户用接收到的广域差分数据改进 GPS 导航定位的精度。

98%；定位、定速和定时精度高；可以移动定位。不同于双星定位系统，使用过程中接收机不需要发出任何信号，增加了隐蔽性。

GPS技术广泛用于导航、制图、陆地测量、商业和科学应用、跟踪和监视等。其精确的时间参照可以用于无线蜂窝通信的时间同步(如CDMA通信)和地震科学研究等。

1.1.3 什么是遥感技术

遥感技术，顾名思义，具有遥远感知的含义。遥感是不通过物理接触而获取有关物体、区域或现象的信息(光谱、空间和时间)的技术。不是用直接接触的方法，因此需要采用一些通过空间传递信息的方法。在遥感中，信息传递是通过电磁波实现的。地球上的每一个物体都在不停地吸收、发射和反射能量。其中电磁波早已经被人们所认识和利用。人们发现，不同物体的电磁波特性是不同的。遥感就是根据这个原理来探测地表物体发射的电磁波特性或对电磁波的反射特性，并对这些特性进行处理和分析，实现远距离标识物体。遥感应用的一个日常例子是电视台“天气预报”中所播放的“卫星气象云图”，它是由“气象卫星”获取的“云”的图像。遥感技术是从人们一般不能站到的高度去“拍照”，具有宏观视野。

遥感设备搭载的平台称为**载荷平台**。不仅仅是卫星，还可以是航天飞机、飞机、气球、航模飞机和汽车等，从而实现了在不同高度上进行遥感，使之为不同的工作目的服务。目前最常用的是卫星遥感技术和航空遥感技术。

卫星载荷可以分为两大类：**科学探测卫星**和**应用卫星**。科学探测卫星是用来进行空间物理环境探测的卫星，主要任务是探测空间环境中的中性粒子、高能带电粒子、固体颗粒、低频电磁波和等离子体波、磁场、电场等。应用卫星是直接为国民经济和军事服务的人造地球卫星，按用途可分为通信、气象、侦察、导航、测地、地球资源和多用途卫星等。

各种卫星通过不同的遥感技术实现不同的用途，如**气象卫星**用于气象的观测预报；**海洋观测卫星**用于海洋观测；**陆地资源卫星**用于陆地上所有土地、森林、河流、矿产和环境资源等的调查；**侦察卫星**是用于搜集和截获军事情报的人造地球卫星，卫星侦察的优点是侦察范围广，速度快，可不受国界限制定期或连续地监视某个地区。侦察卫星按照所执行的任务和所采用的侦察手段来加以区别，一般分为照相侦察卫星、电子侦察卫星、海洋监视卫星和预警卫星等。

传感器及其成像是遥感的“眼睛”。遥感成像方法可以分为两类，一类是模拟成像技术，采用模拟图像的感光度或模拟电信号方法来表示传感器获取的图像；一类是数字成像技术，采用像素和二进制数据来表示传感器获取的图像，获取的图像信号可以通过信道的传输到达地面站。

根据传感器感知电磁波波长的不同，遥感又可分为**可见光-近红外**(visible-near infrared)遥感、**红外**(infrared)遥感及**微波**(microwave)遥感等。根据接收到的电磁波信号的来源，遥感可分为**主动式**(信号由感应器发出)和**被动式**(信号由目标物体发出或反射太阳光波)。

从遥感技术的角度看，图像分辨率有**空间分辨率**、**光谱分辨率**和**时间分辨率**。分辨率是用于记录数据的最小度量单位。空间分辨率指影像上所能看到的地面最小物体的

尺寸,用像元在地面的大小来表示,它描述了一个像元点所表示的地面的面积。遥感卫星的飞行高度一般在 600~4000km 之间,图像分辨率一般是 1m~1km 之间,军用甚至可达到 10cm。例如,当分辨率为 1km 时,一个像元代表地面 1km×1km 的面积;当分辨率为 30m 时,一个像元代表地面 30m×30m 的面积;当分辨率为 1m 时,图像上的一个像元相当于地面 1m×1m 的面积,能够分辨出面积大于 1m² 的物体。

光谱分辨率指成像的波段范围,分得愈细,波段愈多,光谱分辨率就愈高。现在的技术可以达到 5~6 纳米(nm)量级,400 多个波段。细分光谱可以提高和识别目标性质和组成成分的能力。时间分辨率指重访周期的长短,目前一般对地观测卫星为 15~25 天的重访周期。

通过观察和分析遥感图像,我们可以辨别出很多物体,如水体(河流、湖泊、水库、盐池和鱼塘等);植被(森林、果园、草地、农作物、沼泽和水生植物等);土地(农田、林地、居民地、厂矿企事业单位、沙漠、海岸、荒原和道路等);山地(丘陵、高山和雪山等);关键特征(一棵树、一个人、一条交通标志线、一个足球场内的标志线)等。

1.1.4 什么是 3S 技术

3S 系统是指将上述 3 种技术及其他相关技术有机地集成在一起的技术,通过 RS、GPS 和 GIS 的集成,构成从数据获取、数据定位、可视化到空间数据操纵和分析各方面都互补增强的信息系统,如图 1.1 所示。

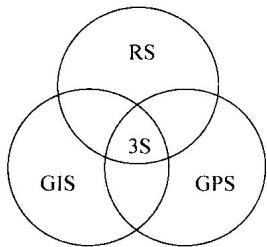


图 1.1 3S 技术集成

遥感技术是空间信息获取的一种重要技术。在 3S 系统中,遥感技术的主要作用是作为数据源为系统提供遥感图像数据及其他遥感空间数据,例如利用多角度遥感数字影像获取地面的高程数据。全球定位系统可以对被观测目标、遥感图像中的目标进行定位,赋予坐标,准确测时和测速,使其能与“数字地图”进行配套。“有位置的数据”就是地理空间数据。

地理信息系统是地理空间信息的统管,它实现空间数据集成、处理、管理和可视化,提供空间数据及其属性数据分析的能力。例如,可以基于数字地图,集成卫星影像、航空照片、GPS 地理坐标、目标运动和时间信息等其他信息源。另外,在 GIS 的支持下,可以提高遥感数据的解译和处理精度。将影像数据库、矢量图形库和数字高程模型集成的 3S 系统还可以处理和管理动态和三维的地理和空间信息。

集成指的是一种有机的结合,即在线的连接、实时的处理和系统的整体性。集成可以是紧密的同步集成或松散的异步集成。例如,对于已得到的航空航天遥感影像,到实地用 GPS 接收机测定其空间位置(x, y, z),然后通过遥感图像处理,将结果经数字化送入地理信息系统中。这里是使用了 3S 技术,但它不是一种紧密的在线集成,而是一种松散的异步集成。

早期一个经典的 3S 技术集成系统的例子(详见第 8 章)是美国俄亥俄州立大学、加拿大卡尔加里大学在政府基金会和工业部门资助下建立的一种移动式测绘系统(Mobile Mapping System)VISAT^[1],该系统集成了 CCD 摄像机、GPS、GIS 和惯性导航系统,将 GPS、CCD 实时立体摄像系统和 GIS 联机地装在汽车上。随着汽车的行驶,所有系统均

在同一个时间脉冲控制下进行实时工作。由空间定位、导航系统自动测定 CCD 摄像机瞬间的方位和距离,据此与已拍摄的数字影像,实时/准实时地求出线路上的目标(如两旁的建筑物和道路标志等)的空间坐标,并随时送入 GIS 中。而 GIS 中已经存储的道路网及数字地图信息可用来修正 GPS 和 CCD 成像中的系统偏差,或作为参照系统,实时地发现公路上各种设施的位置是否准确。这种系统就是一种紧耦合的同步集成系统。

1.2 3S 技术的发展

3S 技术是 GIS、RS 和 GPS 技术发展和融合的产物。要理解 3S 技术的由来,首先需要分别了解 GIS、RS 和 GPS 技术的发展。

1.2.1 GIS 技术的发展

20 世纪 50 年代末和 60 年代初,计算机获得广泛应用以后,也应用于地理数据的存储和处理,使计算机成为地图信息存储和计算处理的装置,地图数字化并用计算机管理,这样就出现了地理信息系统的雏形。早期 GIS 开发的许多贡献功归于加拿大测量学家 Roger Tom Linson^{①②},他在 1963 年建立了第一个地理信息系统——加拿大地理信息系统(Canada Geographic Information System),用于自然资源的管理和规划。那时地理信息系统的特征是计算机支持的制图能力较强,但是地理分析功能比较简单。实现了手扶跟踪的数字化方法,可以完成地图数据的拓扑编辑、分幅数据的自动拼接、格网单元的操作,由此发展了一些面向格网的系统,Howard Fisher 建立的哈佛大学计算机图形和空间分析实验室及其 SYMAP(Synagraphic Mapping System)系统就是最著名的一例,另外还有 GRID(20 世纪 60 年代后期)等系统。

1969 年 Jack 和 Laura Dangermond 创建了著名的 ESRI(Environmental Science Research Institute),当时是作为一个私人咨询组织。后来以 1100 美元起家,开始了商业化发展。早期的研究和开发包括制图数据结构、专业 GIS 软件工具及其应用。这些处理地理数据的主要技术奠定了地理信息系统发展的基础。这一时期,地理信息系统发展的另一显著标志是许多有关的组织和机构纷纷建立,例如国际地理联合会(International Geographical Union,IGU)^③于 1968 年设立了地理数据收集和处理委员会。这些组织和机构的建立,对于传播地理信息系统的知识和发展地理信息系统的技术起了重要的指导作用。

在 20 世纪 70 年代,随着计算机技术迅速发展,数据处理速度加快,内存容量增大,输入和输出设备能力增强,以及磁盘大容量直接存取设备的推出,为地理数据的录入、存

① Mapping GIS Milestones: 1960-1970. <http://www.gisdevelopment.net/history/1960-1970.htm>.

② R.F. Tomlinson, 1974: The development of a Geographical Information System: the Case of the Canada Geographic Information System.

③ IGU. <http://www.igu-net.org/>.

储、检索和输出提供了有效的手段,特别是人机对话和随机操作的应用,可以通过屏幕直接监视数字化的操作,而且制图分析的结果能及时看到,并可以进行实时的编辑。这时,由于计算机技术及其在自然资源和环境数据处理中的应用,促使地理信息系统迅速发展。例如,1970—1976年,美国地质调查所就建成50多个信息系统,分别作为处理地理、地质和水资源等领域空间信息的工具。其他如加拿大、原联邦德国、瑞典和日本等国也先后发展了自己的地理信息系统。

地理信息系统的发展,使一些商业公司开始活跃起来,应用软件得以推广。在此期间,召开了一系列地理信息系统的国际讨论会,国际地理联合会先后于1972年和1978年两次召开关于地理信息系统的学术讨论会。1978年在原联邦德国达姆斯塔特工业大学召开了第一次地理信息系统讨论会。这期间,许多大学(例如美国纽约州立大学布法罗校区等)开始培养地理信息系统方面的人才,创建了地理信息系统实验室。一些商业性的咨询服务公司开始从事地理信息系统的工作。地理信息系统受到了政府部门、商业公司和大学的普遍重视。这个时期地理信息系统发展的总体特点是:地理信息系统在继承20世纪60年代技术基础之上,充分利用了新的计算机技术;但系统的数据分析能力仍然很弱,在地理信息系统技术方面未有新的突破,系统的应用与开发多限于某个机构。

20世纪80年代,由于大规模和超大规模集成电路的问世,特别是微型计算机和远程通信传输设备的出现为计算机的普及应用创造了条件,加上计算机网络的建立,提高了地理信息的传输时效。在系统软件方面,面向数据管理的数据库管理系统通过操作系统管理数据,系统软件工具和应用软件工具得到发展,数据处理和数学模型、模拟和分析等决策工具结合。地理信息系统的应用领域迅速扩大,从资源管理、环境规划到应急反应,从商业服务区域划分到军事作战规划等,涉及许多的学科与领域,如人类学、景观生态规划、森林管理、土木工程、计算机科学与工程、信息系统与信息管理和信息系统工程等。这时期,许多国家制定了本国的地理信息系统发展规划,启动了若干科研项目,建立了一些政府性和学术性机构,如美国于1987年成立了国家地理信息与分析中心(National Center for Geographic Information & Analysis, NCGIA)^①,英国于1987年成立了地理信息协会。同时,商业性的咨询公司和软件商不断涌现,并提供系列专业化服务。地理信息系统引起工业化国家的普遍兴趣,研究和应用不受国家界线的限制,地理信息系统开始用于解决全球性的经济、环境、资源和安全等问题。

20世纪90年代由于计算机的软硬件尤其是Internet的发展,网络已进入千家万户,社会对地理信息系统认识普遍提高,需求大幅度增加,地理信息系统已成为许多机构的业务系统。国家级乃至全球性的地理信息系统已成为公众关注的问题,例如地理信息系统已列入美国政府制订的“信息高速公路”计划,美国提出的“数字地球”战略也包括地理信息系统。毫无疑问,地理信息系统将发展成为现代社会最基本的信息服务系统。

我国地理信息系统方面的工作自20世纪80年代初开始。1980年中国科学院遥感应用研究所成立地理信息系统研究室,在几年的起步发展阶段中,我国地理信息系统在理论探索、硬件配制、软件研制、规范制订、区域试验研究、局部系统建立和应用试验等方

^① NCGIA. <http://www.ncgia.ucsb.edu/>.

面都取得了进步,积累了经验。地理信息系统进入发展阶段的标志是从第七个五年计划开始。地理信息系统研究正式列入国家科技攻关计划,开始了有计划、有组织、有目标的科学研究、应用实验和工程建设工作。许多部门同时开展了地理信息系统研究与开发工作,如全国性地理信息系统(包括地理数据库)实体建设、区域地理信息系统建设,以及城市地理信息系统、公共安全应急信息系统和军事地理信息系统等。

1.2.2 RS 技术的发展

遥感一词首先是由美国海军科学研究部的伊夫林·普鲁特(Evelyn L. Pruitt)在1950年提出来的^①,替代含义受限的航空摄影(aerial photography)领域。1960年初在由美国密歇根大学等组织发起的环境科学讨论会上正式被采用,此后“遥感”这一术语得到科学技术界的普遍认同和接受,而被广泛运用。

而遥感的渊源则可追溯到很久以前。如果说人类最早的遥感意识是懂得了凭借人的眼、耳、鼻等感觉器官来感知周围环境的形、声、味等信息,从而辨认出周围物体的属性和位置分布的话,那么人类自古以来就在想方设法不断地提高自身的视觉和听觉感知能力和扩大其范围。古代神话中的“千里眼”、“顺风耳”就是人类这种意识的表达和流露,体现了人们梦寐以求的遥感幻想。1610年意大利科学家伽利略研制的望远镜及其对月球的首次观测,以及1794年气球首次升空侦察,可视为遥感的最初尝试和实践。而1839年Daguerre^②和Niepce的第一张摄影照片的发表则是摄影遥感技术的起源。

随着摄影术的诞生和照相机的使用,以及信鸽、风筝及气球等简陋平台的应用,构成了初期遥感技术系统的雏形。空中照片的魅力,得到更多人的首肯和赞许。1903年飞机的发明,以及1909年Wilbour Wright(怀特)第一次从飞机上拍摄意大利西恩多西利地区空中相片,从此揭开了航空摄影测量(遥感初期)发展的序幕。

在第一次进行航空摄影以后,1913年Captain Tardivo发表论文首次描述了用飞机摄影绘制地图的问题。第一次世界大战的爆发,使航空摄影因军事上的需要而得到迅速的发展,并逐渐发展形成了独立的航空摄影测量学的学科体系。其应用进一步扩大到森林、土地利用调查及地质勘探等方面。

随着航空摄影测量学的发展及其应用领域的扩展,特别是第二次世界大战爆发,军事上的需要以及科学技术的不断进展,使彩色摄影、红外摄影、雷达技术、多光谱摄影和扫描技术相继问世,传感器的研制得到迅速的发展,遥感探测手段取得了显著的进步,从而超越了航空摄影测量只记录可见光谱段的局限,向紫外和红外扩展,并扩展到微波。同时,运载工具以及判读制图等设备也都得到相应的完善和发展。

1957年10月4日前苏联发射了人类第一颗人造地球卫星,标志着人类从空间观测地球和探索宇宙奥秘进入了新的纪元。1959年前苏联宇宙飞船“月球3号”拍摄了第一批月球相片。1960年开始,美国也发射了TIROS-1(Television Infrared Observation Satellite)和NOAA-1(National Oceanic and Atmospheric Administration)太阳同步气象

^① Remote Sensing: introduction and history. <http://earthobservatory.nasa.gov/Library/RemoteSensing/>.

^② 达盖尔(1789—1851),法国艺术家和发明家,发明了银版摄影术,能洗出照片的正像。