

地理信息系统理论与应用丛书

地 理 信 息 系 统 基 础

龚健雅 编著

国家杰出青年科学基金资助项目

(编号: 49525101)

科 学 出 版 社

2001

内 容 简 介

本书是一本全面系统的地理信息系统(GIS)基础教程。全书共分8章。第一章绪论,简要介绍地理信息系统的原由与发展过程;第二章地理信息系统的构成,介绍其涉及的硬件构成、软件模块及系统的功能;第三章空间数据获取,介绍数据的采集、获取、转换及其质量问题;第四章空间数据表达,介绍地理现象、空间对象的关系及其矢量、栅格表达,空间数据模型与数据结构等;第五章空间数据处理,介绍各种空间操作的算法以及实现策略;第六章空间数据管理,介绍数据库、数据库管理系统与模型;第七章空间查询与空间分析,介绍空间查询分析的各种方法;第八章空间数据的可视化与地图制图,以实例介绍普通地图与专题地图制图等地理信息可视化与输出问题。

本书对地理信息系统学科的基础理论、算法以及实现原理进行了系统分析和阐述,对地理信息系统的学科体系和基础理论建设具有重要的意义;可作为地理信息系统专业的教材,也可供地球科学领域从事地理信息科学的广大科研工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

地理信息系统基础/龚健雅编著. -北京:科学出版社,2001
(地理信息系统理论与应用丛书)

ISBN 7-03-008997-9

I. 地… II. 龚… III. 地理信息系统 IV. P91

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第81788号

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>

印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2001年2月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2001年6月第二次印刷 印张:21 3/4

印数:3 001—7 000 字数:496 000

定价:33.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

序

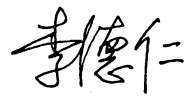
随着社会的进步、科技的发展和经济的腾飞，信息时代正阔步向我们走来。据统计，在人类活动所接触到的信息中有 80% 与地理位置和空间分布有关。为了有效地描述、采集、处理、存储、管理、分析和应用地理空间信息，30 多年前产生了地理信息系统（GIS）技术。经过 30 多年的发展，GIS 已成为信息产业的一支重要的方面军。据估计，目前全世界 GIS 产业的年产值已经超过了上百亿美元。今天，地理信息系统已不仅是一门单纯的技术，而且形成了一门学科，形成了自身的理论和技术体系。我国已经设立了地理信息系统的本科、硕士、博士专业，表明地理信息系统作为一门新兴学科正在崛起，而且将对整个社会信息化发展产生重要影响。

几十年来，各国政府机构、学术组织和科学技术人员为推动地理信息系统的发展做出了巨大努力。20 世纪 80 年代，美国在三所大学设立了国家地理信息分析中心（NCGIA），并联合编写了地理信息系统核心教程，对 GIS 技术的发展和 GIS 的推广应用起了重要作用。在这之后，各国学者又编写了大量 GIS 的教程和参考书，初步形成了这门学科的理论和技术基础。在我国，先后建立了“资源与环境信息系统国家重点实验室”和“测绘遥感信息工程国家重点实验室”，在一些大学开办了 GIS 研究所、研究中心和相关专业，培养了一批高层次的 GIS 技术人才。目前，我国已有几十所大学开办了地理信息系统本科、硕士或博士专业，我国 GIS 人才培养的规模将上一个新台阶，以满足当前和未来 GIS 人才需求。

在 GIS 教材建设方面，虽然我国已出版了许多 GIS 方面的教材和参考书，但是从一个学科的发展来看，我们需要从多个层次，从不同的视角和领域来编写 GIS 教程。龚健雅教授是我国较早培养的一位 GIS 专业的博士，也是教育部首批“长江学者”特聘教授。十多年来，他在 GIS 领域从事地理信息系统理论、关键技术的研究，以及地理信息系统基础软件的开发，积累了丰富的理论和实践经验。这本《地理信息系统基础》是他参考了大量前人研究的成果，综合他本人和他的同事从事 GIS 研究和软件开发的心得编写而成，其目的是让 GIS 专业的学生更多地掌握和了解 GIS 的基本概念、基本原理、基本算法以及实现方法，使学生不仅要知其然，还要知其所以然，使从事 GIS 的技术人员具有更扎实的基础。

我国地理信息产业和学科发展已进入了快车道，希望有更多的学者参与

GIS 教材建设，尽快建立本学科各个层次的教材体系，推动 GIS 学科更快更好地发展，培养和造就本学科一大批优秀人才，为我国地理信息产业的健康发展，为我国在该领域的国际地位和国际影响作出贡献。

Handwritten signature of Li De Ren in black ink.

2000 年 6 月于珞珈山

前 言

从 20 世纪 60 年代初“地理信息系统”(GIS)一词出现以来,至今这门学科已发展了 30 多年。30 多年来,各个国家、各个相关领域和学者为它添砖加瓦,逐渐形成了这门学科的理论与技术体系。今天,虽然这门学科还在日新月异地发展,但是一些基本概念、基本理论、基本算法已基本形成。所以,我们才有可能综合国内外各种 GIS 的参考书和参考资料,结合自己多年在这一领域研究和工作的成果,编写这本《地理信息系统基础》,其目的是为了能够更好地推动这门学科的发展。

地理信息系统已不单纯地被看作为一个技术系统或计算机系统,而已被看作是一门学科、一门技术。在我国,地理信息系统不仅有本科专业、硕士专业,而且有博士专业。全国几十所大学开办了地理信息系统专业,许多其他专业也开设了地理信息系统课程。十多年来,我国许多学者为地理信息系统学科的发展作出了巨大贡献,写出了许多教科书和参考书。由于地理信息系统是地图学、摄影测量与遥感、地理学、计算机科学与技术、城市规划与管理等多门学科综合发展的产物,因而各学科的学者从不同的角度理解和编写地理信息系统教科书,对教科书的内容和侧重点各有不同。今后,这种局面还会继续下去,这对地理信息系统的发展也不失为一件“百家争鸣,百花齐放”的好事。

笔者参考美国 NCGIA 的核心课程《地理信息系统》、Robert Laurini 和 Derek Thompson 编写的《空间信息系统基础》的框架内容以及国内外其他一些参考书,结合笔者和同事开发地理信息系统基础软件 GeoStar 的经验总结,编写了这本《地理信息系统基础》,其目的是让本专业学生掌握和了解地理信息系统技术的一些基础知识,让学生掌握地理信息系统中的基本概念、基本理论、数据结构、数据模型、各种算法以及软件实现方法等基本知识,使学生不仅知其然,而且知其所以然。

本书以地理空间数据的采集、表达、处理、管理、查询、分析与可视化表示为基本思路,围绕地理空间数据的各项处理工作为核心展开。第一章介绍地理信息系统的基本概念、发展历史和本课程涉及到的内容。第二章介绍地理信息系统的构成,包括硬件、软件、网络和输入输出设备。第三章介绍空间数据采集的方法、基本原理及其涉及到的硬软件环境、空间数据转换以及空间数据的质量评价。第四章讨论空间数据的计算机表达方式,即怎样将

采集的数据在计算机中有效地组织起来，也就是我们通常所说的数据结构。由于空间数据不同于一般的数据，各国学者设计了各种数据结构，包括矢量数据结构、栅格数据结构、四叉树数据结构、一体化数据结构、镶嵌数据结构和超图数据结构等。这些结构尽管有些已不太使用了，但本书做为 GIS 的基础教程，还是尽可能地把它们编录其中，读者可以自作选读。第五章较为详细地讨论了空间数据处理方法，包括点在多边形内、线在多边形内、多边形切割、多边形充填、坐标变换和投影变换、拓扑关系建立、矢量栅格相互转换、Voronoi 图和 Delaunay 三角网的构建、空间内插等算法。这些算法有些是从现有教科书中摘录的，有些是根据笔者和同事开发 GeoStar 软件时设计的。它是本书的重要内容。第六章涉及空间数据管理。空间数据管理被认为是地理信息系统的核心。目前空间数据的管理有多种方法，本章尽可能介绍当前出现的各种方法，包括各种数据模型，但是笔者编写本书时，空间数据管理方法正在发生较大变化，由原来文件加关系数据库管理系统混合管理方式转为由对象关系数据库管理系统统一管理，这方面的参考资料还不够多，本书只是作了概略介绍。第七章介绍空间查询与空间分析，这是地理信息系统的应用基础。笔者尽可能介绍各种空间查询和空间分析方法的实现。但是空间查询和空间分析算法的技巧很多，本书所介绍的是基本算法，这些算法能够实现达到目标，而它的效率不一定是最优的。第八章介绍空间数据可视化和地图制图。它是空间数据展现在用户面前的结果，是我们人眼能看到的 GIS。本章介绍了地图符号的设计、空间数据符号化的过程、属性数据专题制图的原理、地图的输出、地图的生产以及电子地图等。

本书作为一本 GIS 的基础教程，没有包含 GIS 当前发展的一些新内容，如互联网 GIS、控件 GIS、三维 GIS、时态 GIS 等，因为它们有的正处于快速发展阶段，有的还不够成熟。不过，有兴趣的读者可以参考笔者和李斌教授等主编的《当代 GIS 的若干理论与技术》一书，该书涉及到当代 GIS 发展的若干理论与技术。

虽然本书书名为《地理信息系统基础》，但笔者仍然认为它不一定是一本最好的 GIS 教程。其原因一是有些内容还不够全面深入，一些算法也不一定是最优的；其二，作者是从测绘遥感的专业背景编写本书，个人的知识面有限，有些内容并不一定适合于其他专业。但笔者编写本书是希望推动地理信息系统学科的发展，希望在不久的将来建立我国地理信息系统专业的教材体系。

本书的编写得到了各方面的大力支持。我的导师李德仁院士多年来一直鼓励我编写这一教材，为本书的编写提供了许多有益的资料，并亲自审阅了全部书稿，提出了许多宝贵的修改意见；我的同事和学生也为我提供了很多

素材。可以说，本书是在研制开发 GeoStar 基础上编写而成的，所有参与 GeoStar 开发的同事都为本书做出了重要贡献。在此，对他们一并表示衷心的感谢。另外，我要特别感谢香港理工大学和香港裘槎基金会，本书的初稿是在香港理工大学研修时完成的。

A handwritten signature in black ink, reading '尹健荣' (Yin Jianrong). The characters are written in a fluid, cursive style.

2000 年 6 月于武汉

目 录

序

前 言

第一章 绪 论	(1)
§ 1.1 地理信息系统的起因与发展	(1)
§ 1.2 地理信息系统的定义	(3)
§ 1.3 地理信息系统的基本内容	(5)
§ 1.4 地理信息系统的特性	(6)
参考文献	(8)
第二章 地理信息系统的构成	(9)
§ 2.1 概 述	(9)
§ 2.2 地理信息系统的硬件配置	(9)
§ 2.3 计算机及网络设备	(12)
§ 2.4 存储设备	(18)
§ 2.5 输入设备	(19)
§ 2.6 输出设备	(23)
§ 2.7 地理信息系统的软件构成	(25)
§ 2.8 地理信息系统的功能	(29)
参考文献	(31)
第三章 空间数据获取	(33)
§ 3.1 概 述	(33)
§ 3.2 野外数据采集	(36)
§ 3.3 地图数字化	(39)
§ 3.4 摄影测量	(41)
§ 3.5 遥感图像处理	(44)
§ 3.6 属性数据获取	(55)
§ 3.7 空间数据转换	(57)
§ 3.8 空间数据质量	(60)
参考文献	(69)
第四章 空间数据的表达	(70)
§ 4.1 地理系统与地理现象	(70)
§ 4.2 空间对象及其定义	(74)
§ 4.3 空间对象关系	(81)
§ 4.4 空间对象的矢量表达	(84)
§ 4.5 空间对象的栅格表达	(92)
§ 4.6 混合数据结构与一体化数据结构	(95)

§ 4.7 镶嵌数据结构.....	(98)
§ 4.8 四叉树数据结构.....	(102)
§ 4.9 超图数据结构.....	(116)
参考文献	(121)
第五章 空间数据处理	(123)
§ 5.1 基本算法.....	(123)
§ 5.2 图形编辑.....	(138)
§ 5.3 拓扑关系的自动建立.....	(142)
§ 5.4 图形的裁剪与合并.....	(146)
§ 5.5 图幅接边.....	(155)
§ 5.6 坐标变换.....	(156)
§ 5.7 地图投影与投影变换.....	(159)
§ 5.8 矢量栅格数据的相互转换.....	(167)
§ 5.9 三维空间数据处理.....	(172)
参考文献	(189)
第六章 空间数据管理	(191)
§ 6.1 数据与数据文件.....	(191)
§ 6.2 数据库与数据库管理系统.....	(197)
§ 6.3 数据库模型.....	(202)
§ 6.4 空间数据库管理系统.....	(211)
§ 6.5 空间数据的组织.....	(215)
§ 6.6 空间索引.....	(219)
参考文献	(224)
第七章 空间查询与空间分析	(225)
§ 7.1 空间查询.....	(225)
§ 7.2 叠置分析.....	(232)
§ 7.3 缓冲区分析.....	(243)
§ 7.4 网络分析.....	(246)
§ 7.5 三维空间分析.....	(254)
§ 7.6 空间统计分析.....	(272)
参考文献	(280)
第八章 空间数据的可视化与地图制图	(281)
§ 8.1 普通地图制图.....	(281)
§ 8.2 专题地图制图.....	(296)
§ 8.3 三维空间数据的可视化.....	(302)
§ 8.4 地图注记.....	(323)
§ 8.5 地图排版.....	(327)
§ 8.6 地图输出.....	(332)
参考文献	(335)

第一章 绪 论

§ 1.1 地理信息系统的起因与发展

1.1.1 国际上地理信息系统的起因与发展

自人类社会形成以来,人们在生产活动和社会活动中总在进行着信息的获取、交换和使用。从古代文明到现代社会,地理工作者、测绘工作者、航海家都致力于空间数据的收集整理,制图工作者则以地图形式表示这些数据。地图作为空间数据的载体长期为航海、军事以及现代经济建设服务。

20 世纪以来,人们对地形图和各种专题地图的需求量迅速增加。立体航空摄影测量和遥感成像技术的发展,使摄影测量工作者能以很高的精度,快速地进行大面积测图,同时也为地球资源科学家们,如地质学家、土壤学家、生态学家等提供了极为优越的条件来进行资源勘探和中等详细程度的制图工作,产生的专题地图已是资源调查和管理最有用的信息源泉。

50 年代由于计算机技术的发展,测绘工作者和地理工作者逐渐利用计算机汇总各种来源的数据,借助计算机处理和分析这些数据,最后通过计算机输出一系列结果,作为决策过程的有用信息。1956 年,奥地利测绘部门首先利用电子计算机建立了地籍数据库,以后许多国家的土地测绘部门都相继发展了土地信息系统。60 年代末,加拿大建立了世界上第一个地理信息系统——加拿大地理信息系统 (CGIS) (Burrough, 1986),用于自然资源的管理和规划。稍后,美国哈佛大学研制出 SYMAP 系统软件。尽管当时的计算机水平不高,但 GIS 机助制图能力较强,它能够实现地图的手扶跟踪数字化以及地图数据的拓扑编辑和分幅数据拼接等功能。早期的 GIS 大多数是基于格网系统,因而发展了许多基于栅格的操作方法(黄杏元等,1987)。

进入 70 年代以后,计算机的迅速发展推动了计算机更普及地应用。70 年代推出的大容量存取设备——磁盘,为空间数据的录入、存储、检索和输出提供了强有力的手段。用户屏幕和图形、图像卡的发展,更增强了人机对话和高质量的图形显示功能,促使 GIS 朝实用方向迅速发展。一些发达国家先后建立了各种专业的土地信息系统和地理信息系统。与此同时,一些商业公司开始活跃起来,软件在市场上受到欢迎。据统计,70 年代有 300 多个应用系统投入使用。这期间,许多大学和研究机构开始重视 GIS 软件设计和研究。1980 年,美国地质调查所出版了《空间数据处理计算机软件》的报告,总结了 1979 年以前世界各国空间信息系统的发展概况。另外,Marble 等(1984 年)拟定了空间数据处理计算机软件说明的标准格式,并提出了地理信息系统今后的发展应着重研究空间数据处理的算法、数据结构和数据库管理系统等三个方面的内容。

80 年代是 GIS 普及和推广应用的阶段。由于计算机技术的发展,推出了图形工作站和微机等性能价格比大为提高的新一代计算机。计算机网络的建立,使地理信息的传

输时效得到极大的提高。GIS 基础软件和应用软件的发展,使得它的应用从解决基础设施的管理和规划(如道路、输电线)转向更复杂的区域开发,例如土地利用、城市规划、人口规划与布置等。许多工业国家把土地信息系统作为有关部门的必备工具,投入日常运转。与卫星遥感技术相结合, GIS 开始用于解决全球性问题,例如全球沙漠化、全球可居住区的评价、厄尔尼诺现象与酸雨、核扩散与核废料以及全球气候与环境的变化监测。80 年代中期, GIS 软件的研制与开发也取得了很大成绩,仅 1989 年市场上有报价的软件达 70 多个;并且涌现出一些有代表性的 GIS 软件,如 ARC/INFO, TIGRIS, MGE, SICAD, GenaMap, System 9 等,它们可在工作站或微机上运行。

进入 90 年代,随着微机和 Windows 的迅速发展,以及图形工作站性能价格比的进一步提高,计算机在全世界迅速普及。一些基于 Windows 和 Windows NT 的桌面 GIS,如 MapInfo、ARCView、GeoMedia 等软件以其界面友好、易学好用的独特风格,将 GIS 带入到各行各业。因特网发展,特别是 90 年代万维网的发展,为地理信息系统在因特网上运行提供了必要的技术条件,各软件厂商争相研究出基于万维网的地理信息系统软件。比较典型的软件有:Autodesk 公司的 Map Guide, ESRI 公司的 MapObject IMS, Intergraph 公司的 GeoMedia Web Map, MapInfo 公司的 MapInfo Proserver 和武汉吉奥信息工程公司的 GeoSurf 等。

尽管 GIS 有着广泛的应用潜力,但是它的应用仅仅在少数领域比较成熟,如地图制图与数据发行、自然资源管理与评价、地籍管理、城市与区域规划以及美、加等国的人口普查。GIS 在许多其他领域的应用才刚刚起步,包括商务应用、市政基础设施管理、公共卫生及安全、油气与其他矿产资源的勘测、交通管理、房地产开发与销售等。多数应用是在各级政府部门实现的,据美国联邦数字制图多部门协调委员会的一份调查,早在 1990 年美国联邦政府已有 62 个机构使用 GIS,其中 18 个已用于常规作业(陈俊、宫鹏,1998)。

1.1.2 我国地理信息系统的发展概况

我国地理信息系统的起步稍晚,但发展势头相当迅猛,大致可分为以下三个阶段。

第一是起步阶段。20 世纪 70 年代初期,我国开始推广电子计算机在测量、制图和遥感领域中的应用。随着国际遥感技术的发展,我国在 1974 年开始引进美国地球资源卫星图像,开展了遥感图像处理和解译工作。1976 年召开了第一次遥感技术规划会议,形成了遥感技术试验和应用蓬勃发展的新局面,先后开展了京津唐地区红外遥感试验、新疆哈密地区航空遥感试验、天津渤海湾地区的环境遥感研究、天津地区的农业土地资源遥感清查工作。长期以来,国家测绘局系统开展了一系列航空摄影测量和地形测图,为建立地理信息系统数据库打下了坚实的基础。解析和数字测图、机助制图、数字高程模型的研究和使用也同步进行。1977 年诞生了第一张由计算机输出的全要素地图。1978 年,国家计委在黄山召开了全国第一届数据库学术讨论会。所有这些为 GIS 的研制和应用作了技术上的准备。

第二是试验阶段。进入 80 年代之后,我国执行“六五”、“七五”计划,国民经济全面发展,很快对“信息革命”作出热烈响应。在大力开展遥感应用的同时, GIS 也全

面进入试验阶段。在典型试验中主要研究数据规范和标准、空间数据库建设、数据处理和分析算法及应用软件的开发等。以农业为对象,研究有关质量评价和动态分析预报的模式与软件,并用于水库淹没损失、水资源估算、土地资源清查、环境质量评价与人口趋势分析等多项专题的试验研究。在专题试验和应用方面,在全国大地测量和数字地面模型建立的基础上,建成了全国 1: 100 万地图数据库系统和全国土地信息系统、1: 400 万全国资源和环境信息系统及 1: 250 万水土保持信息系统,并开展了黄土高原信息系统以及洪水灾情预报与分析系统等专题研究试验。用于辅助城市规划的各种小型信息系统在城市建设和规划部门也获得了认可。

在学术交流和人才培养方面得到很大发展。在国内召开了多次关于 GIS 的国际学术讨论会。1985 年,中国科学院建立了“资源与环境信息系统国家级重点开放实验室”,1988 年和 1990 年武汉测绘科技大学先后建立了“信息工程专业”和“测绘遥感信息工程国家级重点开放实验室”。我国许多大学中开设了 GIS 方面的课程和不同层次的讲习班,已培养出了一大批从事 GIS 研究与应用的博士和硕士。

第三是 GIS 全面发展阶段。80 年代末到 90 年代以来,我国的 GIS 随着社会主义市场经济的发展走上了全面发展阶段。国家测绘局正在全国范围内建立数字化测绘信息产业。1: 100 万地图数据库已公开发售,1: 25 万地图数据库也已完成建库,并开始了全国 1: 5 万地图数据库生产与建库工作,各省测绘局正在抓紧建立省级 1: 1 万基础地理信息系统。数字摄影测量和遥感应用从典型试验逐步走向运行系统,这样就可保证向 GIS 源源不断地提供地形和专题信息。进入 90 年代以来,沿海、沿江经济开发区的发展,土地的有偿使用和外资的引进,急需 GIS 为之服务,有力地促进了城市地理信息系统的发展。用于城市规划、土地管理、交通、电力及各种基础设施管理的城市信息系统在我国许多城市相继建立。

在基础研究和软件开发方面,科技部在“九五”科技攻关计划中,将“遥感、地理信息系统和全球定位系统的综合应用”列入国家“九五”重中之重科技攻关项目,在该项目中投入相当大的研究经费支持武汉测绘科技大学、北京大学、中国地质大学、中国林业科学研究院和中国科学院地理研究所等单位开发我国自主知识产权的地理信息系统基础软件。经过几年的努力,中国 GIS 基础软件与国外的差距迅速缩小,涌现出若干能参与市场竞争的地理信息系统软件,如 GeoStar, MapGIS, CityStar, ViewGIS 等。在遥感方面,在该项目的支持下,已建立全国基于 TM 遥感影像土地分类结果的土地动态监测信息系统。国家这一重大项目的实施,有力地促进了中国遥感和地理信息系统的发展。

§ 1.2 地理信息系统的定义

1.2.1 信息和地理信息

信息(information)是用数字、文字、符号、语言等介质来表示事件、事物、现象等的内容、数量或特征。信息向人们(或系统)提供关于现实世界新的事实的知识,作为生产、管理、经营、分析和决策的依据。信息具有客观性、适用性、可传输性和共享性等特征。

信息来自数据（data），数据是未加工的原始资料。数字、文字、符号、图形和影像都是数据。数据是客观对象的表示，信息则是数据内涵的意义，是数据的内容和解释。例如，从测量数据中可以抽取目标物体的形状、大小和位置等信息，从遥感卫星图像数据中可以抽取各种图形和专题信息，从实地调查数据中则可抽取各专题的属性信息。

地理信息是指与所研究对象的空间地理分布有关的信息，它表示地表物体及环境固有的数量、质量、分布特征、联系和规律。从地理实体到地理数据，再到地理信息的发展，反映了人类认识的巨大飞跃。地理信息属于空间信息，其位置的识别是与数据联系在一起的，它具有区域性。地理信息又具有多维结构的特征，即在同一 XY 位置上具有多个专题和属性的信息结构。例如在一个地面点位上，可取得高度、噪声、污染、交通等多种信息。而且，地理信息有明显的时序特征，即动态变化的特征，这就要求及时采集和更新它们，并根据多时相的数据和信息来寻找随时间变化的分布规律，进而对未来作出预测或预报。

1.2.2 信息系统和地理信息系统

能对数据和信息进行采集、存储、加工和再现，并能回答用户一系列问题的系统称为信息系统（图 1-2-1）。信息系统的四大功能为数据采集、管理、分析和表达。更简单地说，信息系统是基于数据库的问答系统（图 1-2-2）。

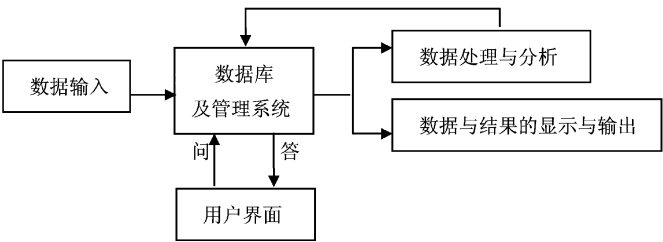


图 1-2-1 信息系统

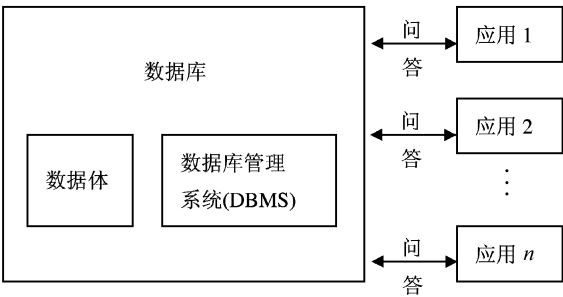


图 1-2-2 作为问答系统的信息系统（引自 Fritsch, 1991）

从计算机科学角度看，信息系统是由计算机硬件、软件、数据和用户四大要素

• 4 •

组成的问答系统，智能化的系统还包括知识（图 1-2-3）。硬件包括各类计算机处理机及其终端设备，软件是支持数据与信息的采集、存储、加工、再现和回答用户问题的计算机程序系统，数据则包括定量和定性数据，用户是信息系统所服务的对象，是信息系统的主人。用户分一般用户和从事系统建立、维护、管理和更新的高级用户。

信息系统通常包括经营信息系统、企业管理信息系统、金融信息系统、交通运输信息系统、空间信息系统和其他信息系统等。其中的空间信息系统（SIS）是一种十分特别而重要的信息系统，它要采集、管理、处理和更新空间信息。

地理信息系统（GIS）是一种特定而又十分重要的空间信息系统，它是以采集、贮存、管理、分析和描述整个或部分地球表面（包括大气层在内）与空间和地理分布有关的数据的空间信息系统。由于地球是人们赖以生存的基础，所以 GIS 是与人类的生存、发展和进步密切关联的一门信息学与技术，受到人们愈来愈广泛的重视。

地理信息系统按其范围大小可以分为全球的、区域的和局部的三种。通常 GIS 主要研究地球表层的若干个要素的空间分布，属于 2~2.5 维 GIS，布满整个三维空间建立的 GIS，才是真三维 GIS。一般也常常将数字位置模型（2 维）和数字高程模型（1 维）的结合称为 2+1 维或 3 维，加上时间坐标的 GIS 称为 4 维 GIS 或时态 GIS。

从学科角度定义，GIS 属于技术学科，它主要涉及地理学、测量学、制图学、摄影测量与遥感、计算机科学。特别是计算机制图、数据库管理、计算机辅助设计、遥感和计量地理学形成了 GIS 的理论和技術基础，计算机辅助设计偏重于图形处理与设计，数据库管理系统主要实现对图形和非图形数据的优化存储、管理和检索，遥感技术是对遥感图像进行处理和分析以提取专题信息的技术。

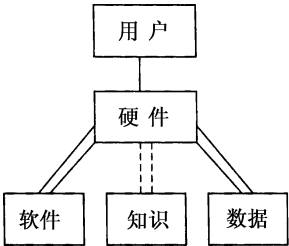


图 1-2-3 计算机科学意义上的信息系统

§ 1.3 地理信息系统的基本内容

地理信息系统技术涉及的基本内容可从表 1-3-1 和表 1-3-2 所列教程得以了解（陈俊、宫鹏，1998）。

表 1-3-1 美国地理信息与分析中心 GIS 教学大纲

一、GIS 概论	
引言，硬/软件，栅格 GIS，数据获取，空间数据的性质，空间现象及关系，GIS 的功能，栅格/矢量数据模型对比及相关问题	
二、GIS 技术问题	
坐标系统及地理编码，矢量数据结构及算法，栅格数据存储，关于地表的数据结构和算法，客体与时间，数据库，误差模拟与数据不确定性，视觉化	
三、GIS 的应用	
GIS 应用领域，决策支持，系统规划，系统实现，GIS 新方向	

表 1-3-2 Unwin GIS 教学大纲

第一部分	GIS 概论
	GIS 的定义及历史，作为商品的数据和信息，GIS 的应用潜力实例
第二部分	GIS 的制图与空间分析概念
	空间数据类型，地理参考，地图投影，坐标变换，空间的基本概念，对点、线、面和表面的基本操作
第三部分	计算机环境下的实现
	不同层次信息的数字表达，数据模型（栅格、矢量、面向对象），误差，矢量/栅格讨论，计算机技术的进展
第四部分	GIS 操作
	硬件，数据存储媒介，处理器及处理环境，显示，生产系统举例
第五部分	GIS 应用
	应用领域，全球尺度上的应用，用 GIS 决策，项目管理，价格-效益分析
第六部分	机构问题
	数据使用权，质量保证与标准，法律意义，GIS 管理，教育和培训

从表 1-3-1 和表 1-3-2 可以看出，GIS 的内容主要包括：① 有关的计算机软、硬件；② 空间数据的获取；③ 空间数据的表达及数据结构；④ 空间数据的处理；⑤ 空间数据的管理；⑥ 空间数据分析；⑦ 空间数据的显示与可视化；⑧ GIS 的应用；⑨ GIS 的项目管理、开发、质量保证与标准化；⑩ GIS 机构设置与人员培训等。本书作为地理信息系统的基础教程主要涉及到前面 7 项内容，GIS 应用仅从 GIS 应用系统的设计与开发原理作典型介绍，至于第⑨项和第⑩项内容，读者可参阅陈俊、宫鹏（1998 年）编写的《实用地理信息系统》一书。

§ 1.4 地理信息系统的特性

如上所述，计算机制图、计算机辅助设计、数据库管理系统、遥感图像处理技术奠定了地理信息系统的技术基础。地理信息系统是这些学科的综合，它与这些学科和系统之间既有联系又有区别，这里将它们逐一加以比较，以突出地理信息系统的特点。

1.4.1 GIS 与机助制图系统的区别与联系

机助制图是地理信息系统的主要技术基础，它涉及 GIS 中的空间数据采集、表示、处理、可视化甚至空间数据的管理。无论是在国际，还是在国内，GIS 早期的技术都主要反映在机助制图方面。机助制图系统或者说数字地图系统，在概念和功能上有很大的差异，它涵盖了相当大的范围，从大比例尺的数字测图系统、电子平板，到小比例尺的地图编辑出版系统、专题图的桌面制图系统、电子地图制作系统及地图数据库系统。它们的功能主要强调空间数据的处理、显示与表达，有些数字制图系统包含空间查询功能。

地理信息系统和数字制图系统的主要区别在于空间分析方面。一个功能完善的地理信息系统可以包含数字制图系统的所有功能，此外它还应具有丰富的空间分析功能。当然在很多情况下，数字制图系统与地理信息是很难区分的，特别是对有些桌面制图系统

如 MapInfo 等在归类上就有较大的争议。严格地说, MapInfo 目前的版本缺少复杂的空间分析功能, 但是它在图文办公自动化、专题制图等方面大有市场, 甚至一些老牌的 GIS 软件公司都开发相应的软件与它竞争。但是, 作者仍然认为, 要建立一个决策支持型的 GIS 应用系统, 需要对多层的图形数据和属性数据进行深层次的空间分析, 以提供对规划、管理和决策有用的信息, 各种空间分析如缓冲区分析、叠置分析、地形分析、资源分配等功能是必要的。

1.4.2 GIS 与数据库管理系统的区别与联系

数据库管理系统目前一般指商用的关系数据库管理系统, 如 Oracle, SyBase, SQL Server, Informix, FoxPro 等。它们不仅是一般事务管理系统, 如银行系统、财务系统、商业管理系统、飞机订票系统等系统的基础软件, 而且通常也是地理信息系统中属性数据管理的基础软件。目前甚至有些 GIS 的图形数据也交给关系数据库管理系统管理, 而关系数据库管理系统也在向空间数据管理方面扩展, 如 Oracle, Informix, Ingres 等都增加了管理空间数据的功能, 今后有可能 GIS 中的图形数据和属性数据全部由商用关系数据库管理系统管理。

但是数据库管理系统和地理信息系统之间还存在着区别。地理信息系统除需要功能强大的空间数据的管理功能之外, 还需要具有图形数据的采集、空间数据的可视化和空间分析等功能。所以, GIS 在硬件和软件方面均比一般事务数据库更加复杂, 在功能上也比后者要多得多。例如, 电话查号台可看作一个事务数据库系统, 它只能回答用户所查询的电话号码, 而一个用于通讯的地理信息系统除了可查询电话号码外, 还可提供所有电话用户的地理分布、电话空间分布密度、公共电话的位置与分布、新装用户距离最近的电信局等信息。

1.4.3 GIS 与 CAD 的区别与联系

计算机辅助设计 (CAD) 是计算机技术用于机械、建筑、工程和产品设计的系统, 它主要用于范围广泛的各種产品和工程的图形, 大至飞机小到微芯片等。CAD 主要用来代替或辅助工程师们进行各种设计工作, 也可以与计算机辅助制造 (CAM) 系统共同用于产品加工中作实时控制。

GIS 与 CAD 系统的共同特点是二者都有坐标参考系统, 都能描述和处理图形数据及其空间关系, 也都能处理非图形属性数据。它们的主要区别是, CAD 处理的多为规则几何图形及其组合, 图形功能极强, 属性功能相对较弱。而 GIS 处理的多为地理空间的自然目标和人工目标, 图形关系复杂, 需要有丰富的符号库和属性库。GIS 需要有较强的空间分析功能, 图形与属性的相互操作十分频繁, 且多具有专业化的特征。此外, CAD 一般仅在单幅图上操作, 海量数据的图库管理的能力比 GIS 要弱。

但是由于 CAD 具有极强的图形处理能力, 也可以设计丰富的符号和连接属性, 许多用户都把它作为数字制图系统使用。有些软件公司为了充分利用 CAD 图形处理的优点, 在 CAD 基础之上, 进一步开发出地理信息系统如 Intergraph 公司开发了基于 Mi-

croStation 的 MGE, ESRI 公司与 Autodesk 公司合作推出了 ARC-CAD。Autodesk 公司自身最近又推出基于 Auto CAD 的地理信息系统软件 (或者说地图数据库管理软件) Auto Map。

1.4.4 GIS 与遥感图像处理的系统区别与联系

遥感图像处理系统是专门用于对遥感图像数据进行分析处理的软件。它主要强调对遥感栅格数据的几何处理、灰度处理和专题信息提取。遥感数据是地理信息系统的重要信息源。遥感数据经过遥感图像处理系统处理之后,或是进入 GIS 系统作为背景影像,或是与经过分类的专题信息系统一道协同进行 GIS 与遥感的集成分析。

一般来说,遥感图像处理系统还不便于用作地理信息系统。然而,许多遥感图像处理系统的制图功能较强,可以设计丰富的符号和注记,并可进行图幅整饰,生产精美的专题地图。有些基于栅格的 GIS 除了能进行遥感图像处理之外,还具有空间叠置分析等 GIS 的分析功能。但是这种系统一般缺少实体的空间关系描述,难以进行某一实体的属性查询和空间关系查询以及网络分析等功能。当前遥感图像处理系统和地理信息系统的发展趋势是两者的进一步集成,甚至研究开发出在同一用户界面内,进行图像和图形处理,以及矢量、栅格影像和 DEM 数据的整体结合的存储方式(龚健雅,1993)。

思考题

1. 地理信息系统可用于哪些领域?结合自己的专业论述本领域使用地理信息系统的前景。
2. 地理信息系统与一般的计算机应用系统有哪些异同点?
3. 在本章所介绍的 GIS 课程大纲中,哪些内容你认为是要重点讲授的,说明理由。

参 考 文 献

王之卓. 1986. 摄影测量原理续编. 北京: 测绘出版社.

边馥苓. 1996. GIS 地理信息系统原理和方法. 北京: 测绘出版社.

任伏虎. 1989. 地理信息系统的理论、方法与应用, 北京大学博士论文.

李德仁、龚健雅、边馥苓. 1993. 地理信息系统导论. 北京: 测绘出版社.

李斌. 1996. 我国 GIS 软件工业面临的机遇和挑战. 地理信息科学, 2(1,2):73.

陈俊、宫鹏. 1998. 实用地理信息系统——成功地理信息系统的建设与管理. 北京: 科学出版社.

张光宇、Y. C. Lee. 1990. 地理信息系统的回顾与展望. 测绘通报, 4(5).

张超、陈丙咸、郭伦. 1995. 地理信息系统. 北京: 高等教育出版社.

宫鹏编. 1996. 城市地理信息系统: 方法与应用, 中国海外地理信息系统协会.

黄杏元、汤勤. 1990. 地理信息系统概论. 北京: 高等教育出版社.

蓝运超、利光秘、袁征. 1991. 地理信息系统原理. 广州: 广东省地图出版社.

Burrough, P. . 1986. Principles of Geographical Information Systems for Land Resours Assessment, Clarendon Press.

Michael F. , Worboys. . 1995. GIS: Computing Perspective, Taylor & Francis.

Robert Laurini & Derek Thompson. 1992. Fundamentals of Spatial Information Systems, Academic Press.

第二章 地理信息系统的构成

§ 2.1 概 述

从计算机的角度看，地理信息系统是由计算机硬件、软件、数据和用户 4 大要素组成，如图 2-1-1 所示。硬件包括各类计算机处理机及其输入输出和网络设备，软件是支持信息的采集、处理，存储管理和可视化输出的计算机程序系统，数据则包括图形和非图形数据、定性和定量数据、影像数据及多媒体数据等，用户是地理信息系统所服务的对象，是地理信息系统的主人，GIS 的用户分一般用户和从事系统的建立、维护、管理和更新的高级用户。

由于计算机技术的飞速发展，硬件寿命一般较短，计算机主机的寿命只有 3~5 年，软件寿命约为 5~15 年，而数据的有效寿命，短的只有 1~2 年，长的则可达到 5~70 年或更长。因此，地理信息系统的更新包括硬件、软件和数据更新，而开发和使用地理信息系统的用户亦需要不断进行知识更新和培训。

从图 2-1-1 可以看出，数据处于核心地位，用户通过软件和硬件操纵数据。数据如同汽车中的汽油，没有汽油，汽车成为一堆废铁；没有数据，地理信息系统则毫无使用价值。在地理信息系统的构成中，硬件、软件和数据的比例通常为 1: 2: 7。由此可见，数据在地理信息系统中有着十分重要的地位。因此，本书在安排上是以数据为主线，以空间数据的获取、表达、处理、管理、分析和显示展开讨论。实际上，GIS 软件亦是围绕这些功能进行设计。而本书的目的则是为 GIS 的开发人员和操作人员介绍地理信息系统的基础知识。

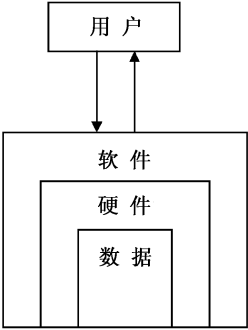


图 2-1-1 地理信息系统的构成

§ 2.2 地理信息系统的硬件配置

地理信息系统的硬件配置根据经费条件、应用目的、规模以及地域分布可以有单机模式、局域网模式和广域网模式。下面分别予以介绍。

2.2.1 单 机 模 式

对于 GIS 个别应用或小项目的应用，可以采用单机模式，一台主机附带配置几种输入输出设备，如图 2-2-1 所示。

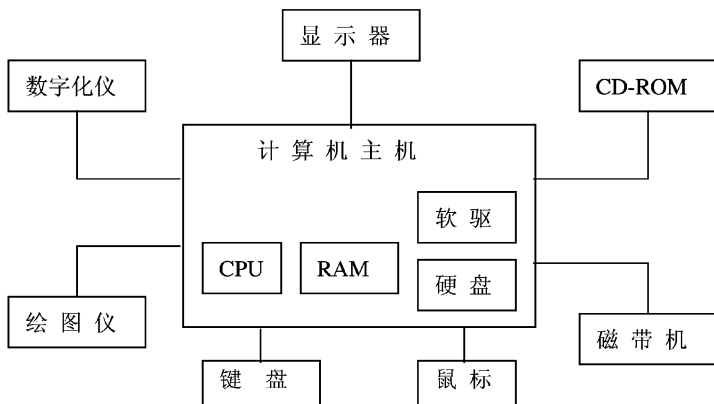


图 2-2-1 单机模式的硬件配置

图 2-2-1 所示的硬件即可用来进行地理信息系统应用。计算机主机内包含了计算机的中央处理机 (CPU)，内存 (RAM)，软盘驱动器和硬盘，现在许多主机上直接安装了 CD-ROM。显示器用来显示图形和属性、系统菜单等，进行人机交互。键盘和鼠标用于输入命令、注记、属性、选择菜单或进行图形编辑。数字化仪用来进行图形数字化。绘图仪用于输出图形结果。磁带机主要用来存储数据和程序或与其他系统进行通讯，有了 CD-ROM 以后，磁带机的用处已越来越小。

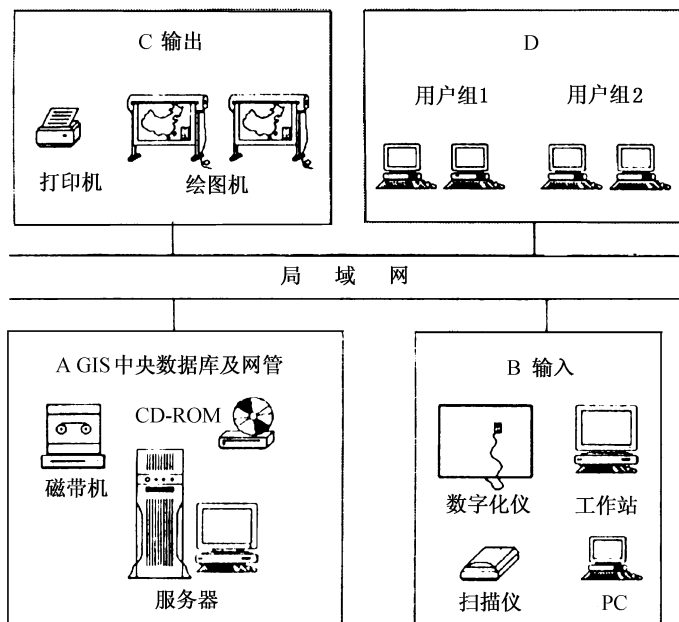


图 2-2-2 局域网模式硬件配置方案

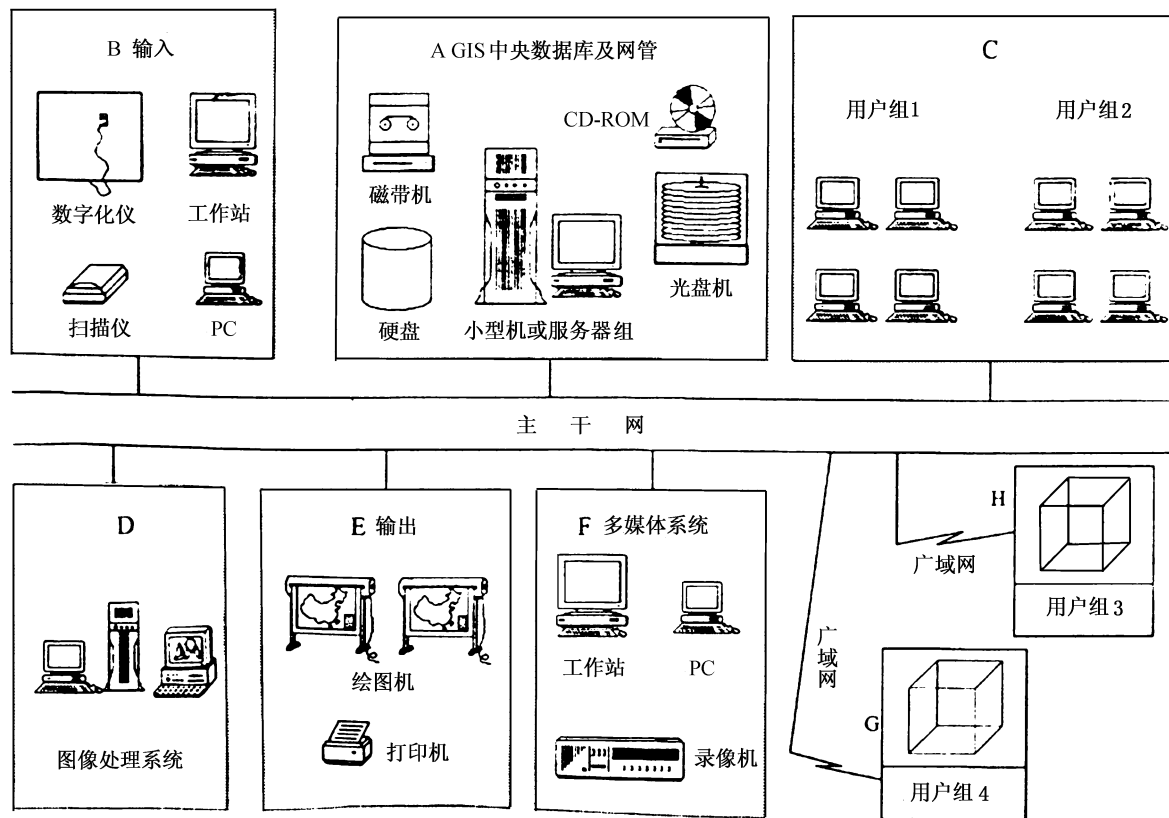


图2-2-3 广域网硬件配置方案

2.2.2 局域网模式

单机模式只能进行一些小的 GIS 应用项目。由于 GIS 数据量大, 靠软盘传送数据难以胜任, 使用磁带机或 CD-ROM 太麻烦。所以一般的 GIS 应用工程都需要联网, 以便于数据和硬软件资源共享。局域网模式是当前我国 GIS 应用中最为普遍的模式。一个部门或一个单位一般在一座大楼之内, 将若干计算机连接成一个局域网络, 联网的每台计算机与服务器之间, 或与计算机之间, 或与外设之间可进行相互通讯。这种基于局域网的配置见图 2-2-2。

图 2-2-2 的配置说明如下:

方框 A 是整个地理信息系统的数据处理和管理中心, 由 1 台或 2 台服务器组成。它作为中央数据处理与管理中心, 负责空间数据的存储管理、备份、动态维护以及系统的网络管理。

方框 B 是输入系统, 由数字化仪、扫描仪、图形工作站或微机组成。

方框 C 是输出系统, 由绘图仪或打印机等组成。

方框 D 是用户组, 由若干台图形工作站或微机组成, 用来进行 GIS 数据处理与分析。

2.2.3 广域网模式

如果 GIS 的用户地域分布较广, 用户之间不能使用局域网的专线进行连接, 而需要借用公共通讯, 使用电话通道或卫星信道进行数据传输, 则需要将 GIS 的硬件环境设计成广域网模式。

在广域网中, 每个局部范围仍然设计成如图 2-2-2 所示的局域网配置模式。除此之外, 再设计若干条通道与广域网连接。如图 2-2-3 所示。有关计算机及网络设备的内容, 将在本章 § 2.3 节作较为详细的介绍。

§ 2.3 计算机及网络设备

计算机的核心部件包括中央处理器 (CPU) 和主存储器 (RAM)。处理速度、字长和内存容量是用来描述计算机的主要性能。当计算机与网络相连时, 网络的配置和传输速度也是影响计算机效率的主要因素之一。

2.3.1 中央处理器

中央处理器 (central processing unit, 简称 CPU) 是计算机必备和核心的部件, 它主要用来执行程序和控制所有硬件的操作。

字长是中央处理器的一个重要指标, 它是影响计算机效率的一个重要因素。字长由比特位来定义。早期生产的大、中、小型计算机字长都在 32 位比特以下。20 世纪 70 年代末, 出现了 8 位、16 位个人用微型计算机。随着微机的发展, 现在市场上大多数

微机是 32 位个人计算机。在 GIS 应用中，由于 GIS 数据量大，图形处理频繁，前些年地理信息系统的主流机型是图形工作站，它是 32 位计算机，现在已出现不少 64 位图形工作站，一般认为图形工作在 GIS 图形处理方面要优于个人微型计算机。但是随着微机的飞速发展，许多性能和效率接近于图形工作站。所以，当前微机用于地理信息系统已越来越普遍。

随着计算机技术的发展，一台计算机内可以安装多个 CPU，特别是服务器，目前大多数都装有多 CPU，以便多用户访问时，大大提高服务器的响应速度。另外，由多台计算机的 CPU 协同工作的分布式计算也已达到实用水平。多台计算机形成网络，平时可以独立运行，若遇到大的计算任务，则联合起来，进行协同式的分布式计算。

2.3.2 内 存

内存是可以被中央处理器直接快速访问的存储区域，它亦是影响计算机效率的一个重要指标。内存的特点是访问速度快，但内存中的程序和数据随系统的退出或关机而消失。

内存的容量一般以比特 (bit)，字节 (Byte, $1\text{ B} = 8\text{ bits}$)，千字节 (kByte, $1\text{ kB} = 1024\text{ Bytes}$)，兆字节 (Megabytes, $1\text{ MB} = 10^6\text{ Bytes}$)，吉字节 (Gigabytes, $1\text{ GB} = 10^9\text{ Bytes}$)，太字节 (Terabytes, $1\text{ TB} = 10^{12}\text{ Bytes}$) 为单位。内存容量慢慢从 20 世纪 50 年代的 2kB 增加到现今的 128MB 或更多。微机的内存容量从 64kB、640kB 增加到现在的 64MB 或 128MB，甚至到 1 G 内存。用于 GIS 的微机或图形工作站，当前的最低配置要求 32MB 以上的内存，理想的配置是 128MB 内存。

字长和内存奠定了计算机效率，即处理速度。衡量处理速度的方法有多种，较流行的有 MIPS 和时钟频率。时钟频率是指每秒变换内存中某一单元内容的次数，即意指内存的访问频率，而 MIPS 是指百万条指令每秒。在微机上通常使用时钟频率作为衡量主机处理速度的一项指标。目前高档微机的时钟频率可达 900MHz 以上。IBM PC 486 的时钟频率在 50 ~ 100MHz 之间，奔腾在 100 ~ 500MHz 之间。图形工作站常采用 MIPS 为指标，早期的工作站的处理速度在 10 MIPS 左右，现在可达 200 MIPS。但应该指出，MIPS 是基于机器指令的，而不同计算机的机器指令是不同的。

2.3.3 网 络

计算机网络品种繁多、性能各异，而且发展很快。这里仅对地理信息系统工程建设和过程中的局域网和广域网涉及到的设备和互连网技术作一简单介绍。详细内容请参阅计算机网络的有关内容。

1. 局域网

局域网 (LAN——Local Area Network) 是指小区域网的计算机互连网。这里的小区域可以是一座办公大楼，一个校园或一个工厂等。局域网由于通讯距离较短，可以采用专用网线，因而有较高的数据传输速率和较低的误码率。各企事业单位的计算机管理网

络多为局域网。

1) 网络服务器

它是网络服务的中心，用来管理系统中的共享设备。一个局域网中可以有多个服务器，如文件服务器、打印服务器、通信服务器等，以实现共享资源的分布配置。服务器可以是专用服务器、高性能的微机、工程工作站、小型机或大型主机，其性能直接影响到局域网的性能。

网络服务器通常以客户/服务器模式或对等模式工作。在客户/服务器模式下，服务器执行数据处理功能，而网络的非服务器节点用作客户从他们的服务器中请求信息。在对等模式中，可使网络的任一工作站作为服务器或客户，或两者兼而有之，网络用户可以无条件地发起通信会话，而其他用户可以访问他们的文件，反之亦然。

2) 网络工作站

网络工作站分无盘工作站和有盘工作站。可选用微机或工程工作站作为网络工作站，用户通过它来访问网络的共享资源。

3) 网络适配器

通常称为网卡，每一台上网的服务器和网络工作站均应装上一块网络适配器，以实现网络资源的共享和相互通信。网络适配器的类型决定着网络的连接方式和信号传输方式，从而获得不同的网络性能。为了实现兼容性，一个网络产品通常能够支持多种网络适配器，例如，NOVELL 网除了提供自己的配套网卡外，还能支持 3 + 网的 3C501、3C503、3C505 等网卡，也能支持 IBM 的 TOKEN RING 网卡。

4) 网络传输介质

包括各种粗细同轴电缆、光缆和双绞线，双绞线和同轴电缆一般作为建筑物内部局域网的干线；光缆则因其性能优越、价格昂贵，常作为建筑物之间的连接干线，用于构成主干网。例如，在武汉测绘科技大学校园网中，采用了速率高达 100Mbps 的 FDDI 光纤环网作为连接各系、馆局域网的主干网。

5) 网络附属设备

网络附属设备随局域网所用的传输介质而定。对于同轴细电缆而言，它一般包括 BNC 插头、T 型插头、终端匹配器；对于同轴粗电缆而言，一般包括收发器、DB - 15 插口（称 AUI 插口）、终端匹配器；在粗细缆混用的情况下，则还包括一个粗转细的锥型同轴接头；对于使用双绞线的情况，包括 RJ - 45 插头或双绞线转为 AUI 线的转换部件 10BT MAU、集线器；对于光缆，则包括光收发器、ST 光纤接头等。如果网络中设置有远程工作站，则调制解调器也应包括在内。

6) 网络软件

网络软件包括网络协议软件、通信软件、网络管理软件和网络操作系统等等。网络

软件功能的强弱直接影响到网络性能。若没有有效的网络软件的支持，一个网络将无法正常工作。

2. 广域网

广域网（WAN——Wide Area Network）又称远程网。它最根本的特点就是其计算机的分布范围广，不受地区限制，面向全省、全国乃至全世界。广域网广泛采用了公共通讯所使用的电话通道或卫星信道。因而目前的传输速率较低。

世界上已经建立了许多为军事、科研和商业服务的广域网。当前非常流行的因特网或称互联网 Internet 也属于广域网的范畴。因特网目前在全世界普及。据估计，1996 年大约有 18000 个计算机网络加入英特网，这些网络大约连接有 600 万台计算机终端，而且每天大约以 100 台新计算机速率进入因特网。在因特网上，用户不仅可以使使用电子邮件与网上任何用户交换信件，还可以跨地区甚至国界使用远程计算机的资源，查询网上的各种数据库的内容及获取希望得到的各种资料。因特网为普及和推广地理信息系统技术提供了新的技术条件。

3. 网络互连技术

一个孤立的局域网，其资源和作用范围都有限，网络互连的目的就是为了突破单个局域网的限制，扩大网络规模，实现更大范围的资源共享与网络通讯。

由于网络有各种类型，因此网络的互连也分为几大类，主要是：

（1）同构型局域网的互连（LAN-LAN），指具有相同体系结构和通讯协议的局域网互连；

（2）异构型局域网的互连（LAN-LAN），指网络体系结构和通讯协议不同的局域网互连；

（3）局域网与广域网的互连（LAN-WAN）；

（4）两个局域网经由广域网互连（LAN-WAN-LAN）。

在互联网中，网络之间的通讯对于用户是透明的，因此，用户可把互联网视为一个大的网络系统。

1) 网络互连协议

为了实现不同网络不同计算机之间的互连通讯，需要制定相应的通讯协议或标准。最著名的通讯标准之一是由国际标准化组织（ISO）提出的开放系统互连标准（OSI——Open System Interface）。它提供了一套通用的数据在网络中进行通讯的参考模型（Hunt，1989）。该参考模型包含了七个协议层来定义数据通讯的协议功能。每一层都完成数据在网络中传输的一部分功能。这七层协议分别是物理层、数据连接层、网络层、运输层、会话层、表达层和应用层。

由于因特网技术的迅速广泛地普及，在因特网中使用的传输控制协议（TCP/IP）成了网络通讯的实际使用标准。与 OSI 七层协议功能相类似，TCP/IP 协议只采用四层协议来完成整个网络通讯，它包括网络连接层、交互层、主机之间的运输层和应用层（陈俊、宫鹏，1998）。

图 2-3-1 表示 OSI 与 TCP/IP 在结构上的不同。数据在 TCP/IP 与 OSI 中的传输部位和顺序是一致的，即当数据被传入网络时，数据被传向整个层状结构的底部；相反地，当数据从网络中接收时，它被传向整个结构的顶部。数据在各个层次的传输中，各个层都会加入一些控制信息，以保证数据正确地传输。这些控制信息被称为“标题信息”。当数据处于发送的过程时，这些标题信息不断地在各个层次得到增加；而在处于接收过程中时，前一层的标题文件则被逐步地减少。

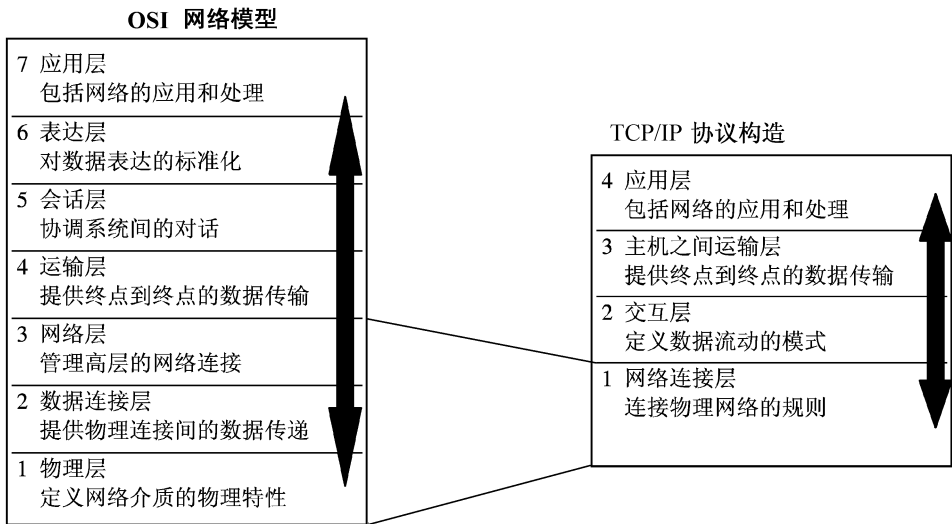


图 2-3-1 OSI 和 TCP/IP 模型结构比较

2) 网络互连设备

网络的互连取决于互连的模式和所采用的互联设备，这些互连设备又称网间连接器，由于连接层次的不同而分为 4 种：中继器、网桥、路由器和网关。它们与 OSI 参考模型的层次对应关系如图 2-3-2 所示。

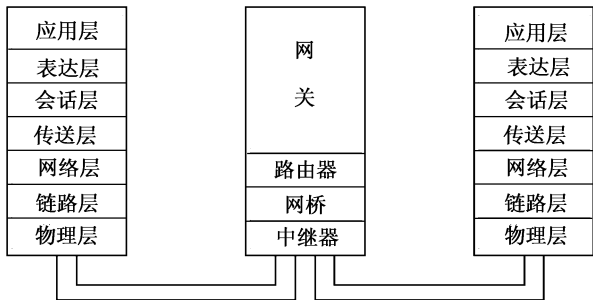


图 2-3-2 网间连接器及其与 OSI/RM 的关系

(1) 中继器（repeater）

中继器是最简单的网间连接器,提供对传送信号的放大和转发。它工作在 OSI/RM

的物理层,因而只能连接具有相同物理层协议的 LAN。中继器主要用于扩充 LAN 电缆段的距离,即便在同一个 LAN 中,也能使用中继器以延长介质长度,如图 2-3-3 所示。

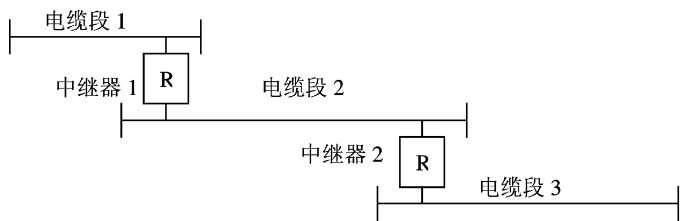


图 2-3-3 中继器的作用

中继器可应用在不同的网络结构上,如以太网、Token Ring 等。令牌总线网 ARC-net 使用的有源接线中枢 (active hub) 实际上也是一种中继器。中继器使用的数目有一定的限制,例如,在一个以太网中,最多使用 4 个中继器,连接 5 个电缆段。相对于下面将介绍的网桥和路由器,中继器需要更多的缓存/存储空间,因为它要完成存储和转发功能,而其性能要低于网桥和路由器。

(2) 网桥 (bridge)

网桥是一种在数据链路层实现 LAN 互连的存储转发设备。它独立于高层协议,不涉及到协议的转换,因此结构简单,往往通过软件或简单的硬件、软件组合来实现,可以实现异构型局域网的互连。

网桥与中继器不同,它监视所链接的子网 (可能不止两个) 上的全部通信量,但仅仅对需要转发到别的子网的数据才给予转发,而不像中继器全部给予转发。因此它可以在不影响网间通信的前提下,有效地实现子网间的隔离,其中包括隔离错误或无用信息,从而减少了整个网络上的总数据通信量,并能提高网络性能。

网桥分为本地桥和远程桥,远程桥可以利用公共通信线路实现与远程子网的连接。图 2-3-4 为用网桥连接局域网和远程子网的示意图。

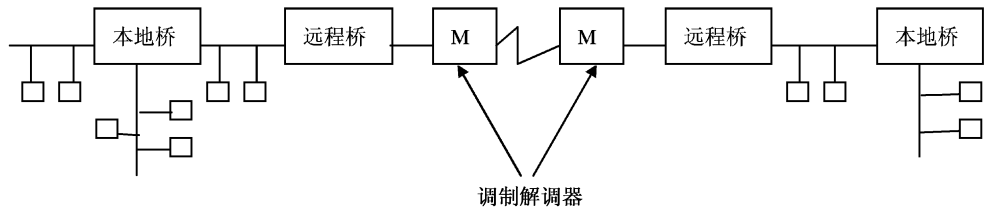


图 2-3-4 网桥实现网络互连

(3) 路由器 (router)

尽管网桥与中继器相比有很多优点,但随着网的扩大,特别是多种平台工作站、服务器及主机连成大规模广域网环境时,网桥在路由选择、拥塞控制和容错及网络管理等方面远远不能满足要求。这主要是因为网桥是基于最佳效果来传送信息的,没有对上面几个方面作周密的考虑。路由器则加强了这些方面的功能,它工作在 OSI/RM 的网络层,因而能获得更多的网络信息,为来到的信息包找到“最佳路由”。“最佳”的依据

有所不同，有的指路径最短，有的指历经的转发点最少，有的指费用最低等。

路由器与协议有关，利用网际协议，它可以为网络管理员提供整个网络的信息以便于管理网络。由于路由器的功能比网桥强大，相应地，它的结构比网桥复杂，速度也比网桥慢，不过它具有更大的灵活性和更强的异种网络互连能力，如支持局域网与广域网的互连等。

(4) 网关 (gateway)

网关又称协议转换器，它工作在 OSI/RM 的传送层及其上的高层，用于互连不同体系结构的网络或媒体。网关比网桥和路由器有更强的能力，它不仅连接分离的网络，而且还必须确保从一个网络传输的数据与另一个网络兼容。例如，要将 NOVELL 局域网与 IBM 大型机的网络相连，就必须使用相应的网关，因为它们之间的速度、字符编码、流程控制及通讯协议等方面都存在根本的差异，需要由网关进行变换以实现互连。

由于网关连接的是不同体系的网络结构，它只可能针对某一特定应用而言，不可能有通用网关，所以有用于电子邮件的网关，用于远程终端仿真的网关等。无论哪一种网关，都是在应用层进行协议转换的。利用网关实现的互连网络，如图 2-3-5 所示。

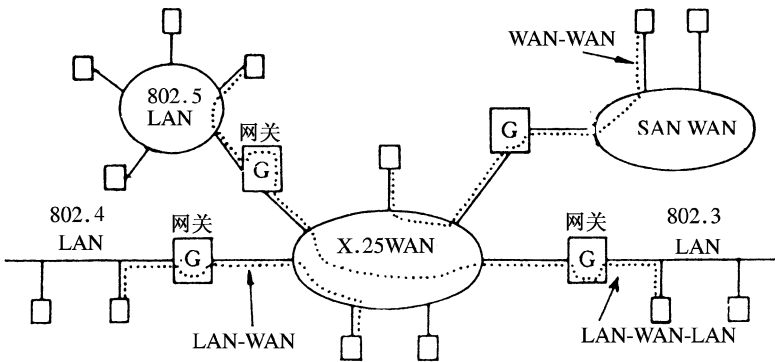


图 2-3-5 网关实现网络互连

§ 2.4 存储设备

磁带和磁盘一直是计算机的主要存储装置。计算机磁带的原理源于录音磁带，甚至一些便携机如 PC-1500 则直接使用录音磁带存储程序和数据。目前计算机磁带有两种类型，一种是通常见的圆盘磁带，另一种是形似于录像带的盒式数据流磁带。盒式数据流磁带及相应的磁带机体积小，容量大。一盒数据流磁带具有 150MB 以上的存储容量。这种轻便的数据流磁带已在工作站上广泛使用，并已开始用于微机。

磁盘是一般计算机必备的存储设备。磁盘分硬盘和软盘两种。硬盘的存取速度和存储容量比软盘大得多。微机用的硬盘容量已达 9GB 以上，工作站的硬盘已超过 9GB 的容量。现今的 5 英寸高密软盘容量达 1.2MB，3.5 英寸软盘可达 1.4MB。硬盘和软盘驱动器以往通常安装在主机的机箱内。现在也推出了外接硬盘。

激光技术的应用将使计算机的存储容量有较大突破。目前市场上容易买到的可读光

盘（写一次，读许多次）CD-ROM 存储容量可达 1GB，可擦写光盘（optical disk）已经投放市场，容量达到 1GB。

地理信息系统是数据密集型系统，一张中等密度的地形图一般需要 2MB 的存储容量。一幅 1024 × 1024 的遥感图像一个波段需 1MB。如果没有高密度存储介质和较快的传输速度，地理信息系统和遥感图像处理系统很难在 PC 机上得到应用。

硬盘的价格和光盘及光驱已非常便宜，硬盘的存储容量也大为增加，一个普通硬盘的容量可达 27GB。这样的存储容量完全可以满足一般地理信息系统的要求。但是对于基于影像的地理信息系统而言，这样的硬盘仍然不够。因而市场上出现了硬盘阵列装置和光盘阵列装置。它可以把上百个硬盘插入一个硬盘柜中，或把几百个光盘插入一个光盘柜中形成一个容量达几百个或上千个 GB 的逻辑盘，服务器能进行数据的统一调度和存取。

§ 2.5 输入设备

2.5.1 数字化仪

数字化仪是 GIS 图形数据输入最基本的设备之一，使用方便，得到普遍应用。其中全电子式坐标数字化仪精度高，这种设备利用电磁感应原理，在台板的 X、Y 方向上有许多平行的印刷线，每隔 200μm 一条，游标中装有一个线圈，当线圈中通有交流信号时，十字丝的中心便产生一个电磁场，当游标在台板上运动时，台板下的印刷线上就会产生感应电流。印刷板周围的多路开关等线路可以检测出最大的信号位置，即十字丝中心所在的位置，从而得到该点的坐标值。数字化仪的外形如图 2-5-1 所示。

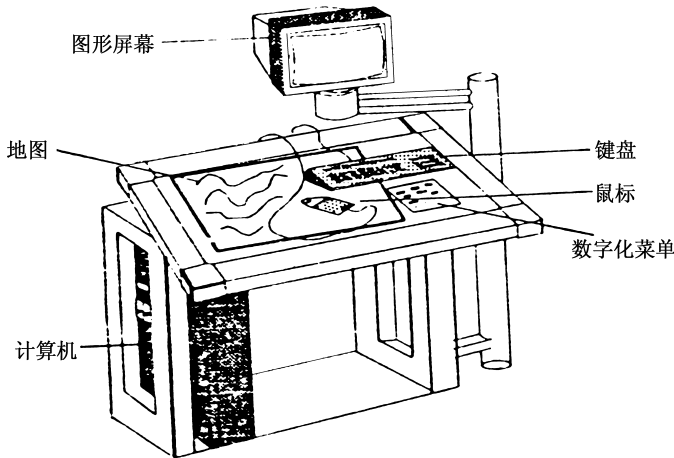


图 2-5-1 数字化工作站示意图

市场上数字化仪的精度受数字化桌本身的分辨率、数字化方式、操作者的经验和技能等多种因素影响。大多数用于制图的数字化桌具有 0.2 mm 的分辨率。因为数字化桌是一种手动的仪器，受过训练的操作员的跟踪精度通常为 0.2 mm 左右，所以一般商用

的数字化桌基本上能满足要求。但是选择数字化桌时要注意，数字化桌的实际分辨率一般比标定分辨率低。标定分辨率为 0.025 mm 的数字化桌，测试时的实际分辨率可能在 0.07 ~0.025 mm 之间。如果购买标定分辨率为 0.2mm 的数字化桌，可能就满足不了 GIS 数据质量要求。

2.5.2 扫 描 仪

扫描仪亦是 GIS 图形及影像数据输入的一种重要工具。随着地图的识别技术、栅格矢量化技术的发展和效率的提高，人们寄希望于将繁重枯燥的手扶跟踪数字化交给扫描仪和软件完成。

按照辐射分辨率划分，扫描仪分为二值扫描仪、灰度值扫描仪和彩色扫描仪。二值扫描仪每个像素 1 比特，取值 0 或 1，用于线划图和文字的扫描和数字化。灰度值扫描仪每个像素点 8 比特 (8 bits = 1Byte)，分 256 个灰度级 (0 ~255)，可扫描图形、影像和文字等。彩色扫描仪通过滤光片将彩色图件或像片分解成红绿蓝三个波段，分别各占 1Byte，所以加在一起每个像素占 3Byte，连同黑白图像每个像素占 4Byte。

按照扫描仪结构分为滚筒扫描仪 (图 2-5-2)、平台扫描仪 (图 2-5-3) 和 CCD 摄像扫描仪。滚筒扫描仪是将扫描图件装在圆柱形滚筒上，然后用扫描头对它进行扫描。扫描头在 X 方向运转，滚筒在 Y 方向上转动。平台扫描仪的扫描部件上装有扫描头，可在 X、Y 两个方向上对平放在扫描桌上的图件进行扫描。CCD 摄像机是在摄影架上对图件进行中心投影摄影而取得数字影像的。扫描仪又有透光和反光扫描之分。

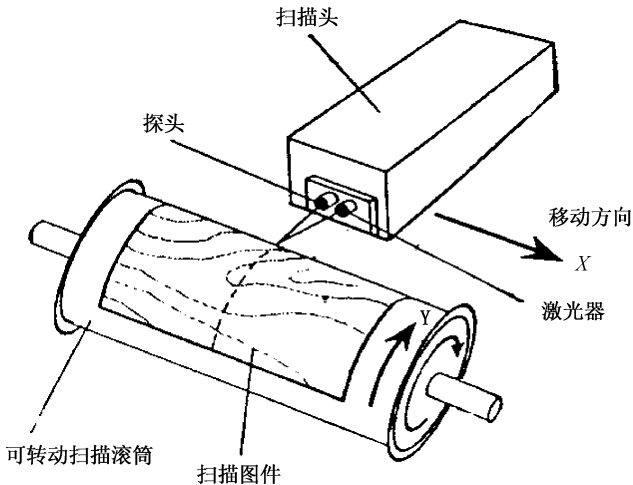


图 2-5-2 滚筒扫描仪的原理示意图

按照扫描方式又可分为以栅格数据形式扫描的栅格扫描仪和直接沿线划扫描的矢量扫描仪。栅格扫描仪扫描得到的影像，需要进行目标识别和栅格到矢量的转换。多年来，已有许多专家和公司研究全自动地图扫描仪，但至今仍未取得满意结果。人机交互的半自动地图扫描矢量化软件已投入市场。武汉测绘科技大学、中国测绘科学研究所和

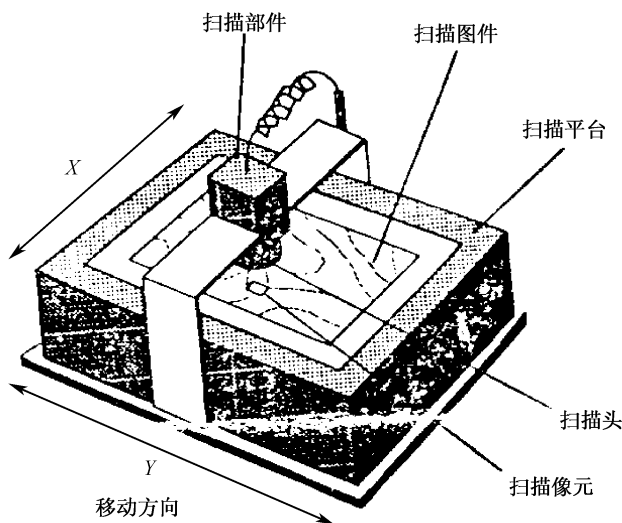


图 2-5-3 平台扫描仪的原理示意图

清华大学等单位都有此类产品。用户需要的是性能可靠、干预量少和对用户友好的产品。

矢量扫描仪则是直接跟踪被扫描材料上的曲线并直接产生矢量数据的扫描仪。目前用得较多的是激光扫描。地图的透明膜片复制品投影到操作员面前的屏幕上，操作员用光标引导激光束。要数字化某曲线时，则将激光束引导到该线的起点，激光束自动沿线移动并记录坐标，碰到连接点或扫描等高线时碰到起始点就停止移动，操作员又进行引导，一旦一条线扫描完后就由另一激光束在屏幕上绘出该线，操作员在该线上加入一个识别符供以后连接属性用。

扫描仪的分辨率可以用像素大小（ $10 \sim 100\mu\text{m}$ 之间）或每英寸的网点数（dpi）表示。两者的转换关系是：400dpi 大约相当于 $64\mu\text{m} \times 64\mu\text{m}$ 像素大小，每 1cm^2 约有 25 000 个像素；1000 dpi 则相当于 $25\mu\text{m} \times 25\mu\text{m}$ 像素大小，每 1cm^2 约有 155 000 个像素，这相当于 20 线对/mm。

2.5.3 解析和数字摄影测量仪器

众所周知的解析测图仪可用于数字测图。第三代解析测图仪是作为 GIS 图形数据采集站而设计的，一般不直接与绘图机联机作业。如蔡司厂生产的 P₃（见图 2-5-4）和威特厂与 Prime 公司生产的 System 9P 工作站（解析测图仪 BC3）。

模拟立体测图仪通过接口和软件与电子计算机连接后可成为机助和机控测图系统。这样的系统有武汉测绘科技大学的 B8S-AAB 解析测图仪、西安测绘研究所和黑龙江省测绘局对 Topocart 仪器的改造等。它们的作用类似于第三代解析测图仪，将立体测量的结果直接变成数字存入计算机，然后由计算机编图和绘图。数据产品也可直接进入 GIS 系统。