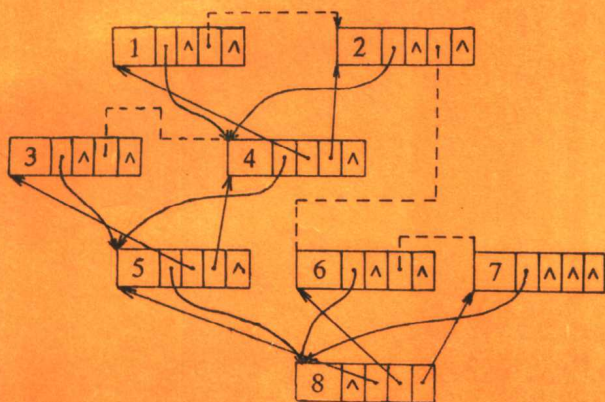


地理信息系统(GIS) 空间数据结构与处理技术

毋河海 龚健雅 编著



测绘出版社

现代测绘科技丛书

**地理信息系统 (GIS)
空间数据结构与处理技术**

毋河海 龚健雅 编著

测 绘 出 版 社

·北 京·

内 容 简 介

本书结合地理信息系统的发展,主要介绍了地理信息系统的总体概念、地理基础数据库的数据组织、GIS中的专题数据组织、GIS中的栅格数据组织、数字地形模型、河系数据组织、复合物体数据组织、GIS的数据处理技术、GIS在决策中的应用以及面向目标的数据模型及其在GIS中的应用等内容。

本书适合从事地理信息系统研究的科研人员 and 专业技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

地理信息系统(GIS)空间数据结构与处理技术/毋河海, 龚健雅编著. —北京: 测绘出版社, 1997. 4

(现代测绘科技丛书)

ISBN 7-5030-0937-3

I. 地… II. ①毋…②龚… III. ①地理信息系统—数据结构
②地理信息系统—数据处理 IV. P91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 02484 号

测绘出版社出版发行

(100045 北京市复外三里河路 50 号)

北京怀柔新华印刷厂印刷·新华书店总店北京发行所经销

1997 年 8 月第 1 版·1997 年 8 月第 1 次印刷

开本: 850×1168 1/32·印张: 7

字数: 180 千字·印数: 0001—3000 册

定价: 15.00 元

《现代测绘科技丛书》

编委会委员名单

主任委员：陈俊勇

副主任委员：宁津生 高俊 张祖勋

楚良才 陈永奇 华彬文

委员：(以姓氏笔划为序)

于来法 方恒 田应中

朱华统 李德仁 陈绍光

张清浦 林宗坚 陶本藻

钱曾波 黄杏元 梁宜希

喻永昌 廖克 潘正风

出版说明

《现代测绘科技丛书》是经国家测绘局批准列入我社“八五”重点出书规划的选题之一。其编写宗旨是对 80 年代以来测绘科技领域在新理论、新技术、新工艺等方面所取得的成果进行总结，整理成册，以期对改造传统测绘生产技术，提高劳动生产率和产品质量，形成我国现代测绘技术体系，发挥科技图书应有的作用；同时也为反映我国测绘科学研究水平，丰富我国测绘学术专著宝库服务。出版本套丛书也是为适应加速测绘科技成果转化为实现生产力的需要。

本套丛书按专题成册。专题有两种类型：一类偏重学术性，主要反映我国测绘各专业近十年来在理论研究方面所取得的、能代表我国先进水平的新成就和某些老专家毕生研究成果的专著，以及测绘前沿填补国内空白的著作；另一类偏重应用技术，是本丛书的主体，其内容是在理论指导下以新技术、新工艺、新材料、新产品研究成果的推广应用为主，个别的配有实用软件。

由于 GPS(全球定位系统)涉及测量界多方面的应用，内容较多，丛书中将分册配套编写，各册主题明确，内容相辅相成，组合起来 GPS 测量内容就显得比较完整，又发挥了各作者的专长。

丛书编委会于 1992 年 1 月成立，全体编委对丛书出版意图、读者对象，乃至每个选题及其内容都作了充分研究和讨论，在全国测绘界选择了有代表性的专家参加各个分册的撰写和审稿工作。按照计划，这套丛书的各分册将根据撰写完成情况先后定稿出版，陆续与读者见面。

前 言

地理信息系统(GIS)萌芽于 60 年代末,由计算机地图制图特别是专题制图发展而来。GIS 30 多年的发展与应用覆盖着众多的学科领域,成为当代最有发展前景的学科之一。青出于蓝而胜于蓝,这个事实说明:机助制图(CC)不应再孤立地进行,而应向更高层次的系统——地理信息系统(GIS)发展,并与之融为一体,成为 CC/GIS 集成系统。

GIS 之所以能如此地广为应用,其根本原因在于它以地理空间——人类活动的场所为基础。然而,地理信息的主要代表——地图,其信息的计算机处理却曾是一只拦路虎,D.C. Tsichritzis 等的“数据模型”(Data Models, 1982)曾因“无法对地图信息进行编码和表示在地图上所进行的操作”而放弃了对地图数据模型进行研讨。由此可见,地图信息的计算机处理已经很难,专题信息的计算机处理也不简单,而要把二者融为一体的 GIS 系统软件的创建,其难度之大就可想而知了。

在 GIS 发展的初期,由于缺少能兼顾图形与专题于一体的系统软件,采用当时已有的能胜任专题信息处理的关系数据库软件补充以必要的图形功能,借此来满足急需,形成了诸如 ARC + INFO, Autocad + dBASE 等分离结构模式。这种将信息的宏观“分类”用处理体系的“分离”来实现,无法顾及到地理信息集成处理的必需性,为 GIS 信息的后继处理带来了许多障碍。要使 GIS 的功能进一步完善,一体化是其必需要解决的。在这方面,GENAMAP 率先实现,但仍有很多涉及空间信息处理的问题急需研究解决。首先需要进一步研究的是:空间信息远不仅是 GIS

的静态的地理背景，更不是陪衬，而是专题信息的空间(地理)依附，从而应是专题信息处理的空间支撑，借此实现地理意义上的面向对象方法。其次，对于诸如复杂物体处理，基于地理实体的缓冲区检索等，地理基础具有进一步的“动态”性质。

本书是以作者的科研成果为主导，在总体结构上顾及 GIS 的一般框架和当前进展，主要内容包括：GIS 的总体概念，地理信息的数据模型(主要数据结构)和地理信息的处理模型(主要分析方法与处理模型)。在阐述上述问题时，重点放在原理或方法的分析与比较上，一般不涉及技术细节。根据作者的研究工作特点，在本书中对以下问题给予了特殊的论述：地理信息的多渠道检索(特别是拓扑检索，缓冲区检索和不规则多边形检索等)，地理信息的集成处理，复合(复杂)物体处理，以及对主要地理要素作进一步的结构化管理(如基于河流实体的河网树结构的自动建立以及高质量数字高程模型 DEM 的自动生成等)，使 GIS 的管理与处理功能进一步向纵深发展，以及面向对象数据模型在 GIS 中的实现。本书分为十章，第一章至第九章为毋河海所撰写，第十章为龚健雅所撰写。本书虽轻小，而其内涵却广而复杂，因此，其中必有不妥与错误之处，敬请读者与有关领域的专家们，不吝指教是谢。本书承蒙高俊教授及黄杏元教授的审阅，并提出了很多宝贵意见，对本书内容的充实与完善起了非常重要的作用。对此，作者深表谢意。

作者

1997 年 3 月

目 录

第一章 地理信息系统(GIS)导论	(1)
§ 1.1 GIS 的概念	(2)
§ 1.2 GIS 的时代特征	(3)
§ 1.3 GIS 的数据范畴	(7)
§ 1.4 GIS 数据组织类型	(12)
第二章 地理基础数据库的数据组织	(14)
§ 2.1 地理实体构模	(14)
§ 2.2 地理基础数据库中基本关系的建立	(16)
§ 2.3 汉字地名数据组织	(24)
第三章 GIS 中的专题数据组织	(31)
§ 3.1 专题地理单元的图形数据组织	(32)
§ 3.2 专题属性数据组织	(69)
§ 3.3 图形数据与专题属性数据的连接	(70)
第四章 GIS 中的栅格数据组织	(73)
§ 4.1 栅格数据的组织与存贮	(73)
§ 4.2 栅格数据的主要运算	(75)
§ 4.3 栅格数据库的检索功能	(87)
§ 4.4 栅格数据处理在地性线自动查找中的应用	(89)
§ 4.5 遥感数据在 GIS 中的应用	(91)
第五章 数字地形模型	(95)
§ 5.1 地形的数学描述	(95)
§ 5.2 DEM 的生成	(104)

§ 5.3	等高线树在生成高质量 DEM 中的应用	(113)
§ 5.4	地形参数计算问题	(115)
§ 5.5	DTM 主要元素的计算	(116)
§ 5.6	DTM 与地理基础的结合问题	(121)
§ 5.7	DEM 的主要应用	(121)
第六章	河系数据组织	(126)
§ 6.1	基于河段的河系数据组织	(126)
§ 6.2	基于河流实体的河系数据组织	(131)
第七章	复合物体数据组织	(144)
§ 7.1	现有的数据模型在非标准应用中的局限性	(144)
§ 7.2	复合物体的定义和信息构成	(145)
§ 7.3	复合物体的建立方法	(146)
§ 7.4	复合物体的编辑	(148)
§ 7.5	复合物体层次树的建立	(149)
第八章	GIS 的数据处理技术	(153)
§ 8.1	GIS 的总体功能	(153)
§ 8.2	CC/GIS 信息检索功能	(153)
§ 8.3	地理信息的集成处理——数据处理的主导 过程	(172)
第九章	GIS 在决策中的应用	(177)
§ 9.1	“决策”的概念	(177)
§ 9.2	“决策支持系统”的概念	(178)
§ 9.3	决策对信息的要求	(183)
§ 9.4	空间决策支持系统	(184)
第十章	面向对象的数据模型及其在 GIS 中的应用	(195)
§ 10.1	概述	(195)
§ 10.2	面向对象数据模型的基本概念	(197)
§ 10.3	GIS 中的面向对象模型	(206)
参考文献		(212)

第一章 地理信息系统(GIS)导论

地理信息系统(GIS, Geographical Information System)技术体现着计算机发展的一个主要转变——计算机的应用早已超越数值计算,经由商用事务处理和办公室自动化,进入到图形/图像信息处理与人工智能领域,由原来的“计算中心”深入到个人用户。由基于事务处理的非空间(定位)数据处理迅速向基于海量数据(长事务)处理的空间(定位)信息系统扩展。地理信息系统是空间信息系统的集中体现,已成为当代信息产业中发展最快的环节之一,是覆盖领域十分广泛的高新技术。其中“地理”意味着数据是参考于地球;“空间”指空间数据模型,它源于表示地理景观实体的物理形状、大小、形态和本质。

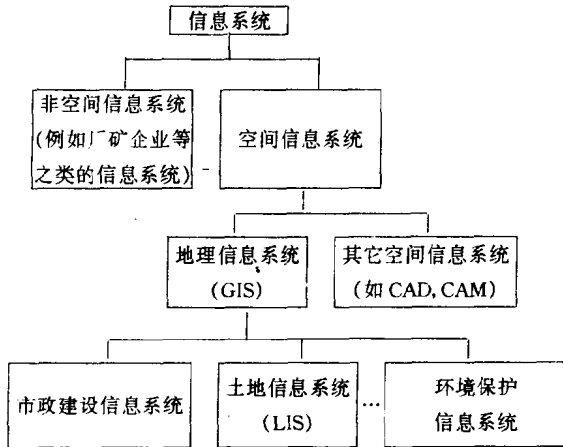


图 1-1 地理信息系统与其它信息系统之间的关系

GIS起源于人口普查、土地调查和自动制图。但现在应用的领域更为广泛——国民经济、环境保护和资源管理等，如基本国情信息系统、市政建设信息系统、土地信息系统等，它们的共同特征是其专题信息均参考于地理空间，地理单元（省、地、县、城镇、专题多边形等）是这些信息系统数据采集、组织和处理的基本框架，因此，GIS实际上是所有以“空间定位”来反映其专题信息分布特征的信息系统的“总称”，因此，它是空间信息系统的一个重要组成部分，它与其它信息系统的关系如图 1-1 所示。

§ 1.1 GIS 的概念

地理空间是人类的活动场所，地理资源与环境因素是人类赖以生存和发展的条件。人类与自然界的斗争可归结为了解自然、合理利用自然和改造自然。所以地理信息就成为与人类活动有关的主要信息。根据纽约市城市规划部专家估计，在纽约市所保存的各种数据中，85%与地理有关。随着时代的发展，人们对环境的需求在提高，特别是土地利用、资源清查与环境保护等，均要求规模宏大的信息系统——地理信息系统（GIS）来实施其信息查询、管理、规划与决策工作。

GIS是对地理环境有关问题进行分析和研究的一门学科。它将地理环境的各种要素，包括它们的空间位置形状及分布特征和与之有关的社会、经济等专题信息（属性数据）以及这些信息之间的联系等，进行获取、组织存贮、检索、分析并在管理、规划与决策中应用。

信息系统（IS）与数据库管理系统（DBMS）的区别在于：信息系统具有以某种选定的方式解释数据的能力，因此能使用户得到关于数据的知识（即信息）。从这个角度看，我们可以把GIS定义为能对空间数据进行分析的DBMS。

鉴于数字地图在地理信息系统中的特殊重要性，故有的学者

将地理信息系统称为“以地图为基础，供资源、环境以及区域调查、规划和管理用的空间信息系统”。

在资源调查中，遥感技术起着极为重要的作用。因此，又可以把地理信息系统看作是地学图像处理系统的延长。目前，GIS、RS和GPS已在进行有机的结合，使GIS应用的深度与广度达到一个新的水平。与遥感技术相结合，保证了地理信息系统的动态性与高度的现势性，被称之为“遥感地理信息系统”(RSGIS)或“自动地理信息系统”(AGIS)。

从目前情况看，GIS都具有明确的区域特征。例如，覆盖一个国家的GIS，覆盖一个省的或覆盖一个县的GIS等。显然，随着覆盖范围大小的变化会引起整个系统的服务目的、信息量及其组织策略以及硬件配置等的重大变化。

显然，若一个GIS的覆盖范围越大，则地区间的差异越显著，这就要求对复杂多样的地理数据进行大幅度的概括处理，抽取主导信息，以用于宏观规划与决策。反之，若GIS的范围越小，则地区间的差异就会越小，这里需要较精确和详细的数据，供工程性技术计算与设计使用。

§ 1.2 GIS的时代特征

资源与环境是国家建设和人民生活的物质基础。资源系指为达到各种目的而使用的所有手段或生产资料。它们可以是消耗性的、再生性的或循环使用的。环境系指人类赖以生存和发展的各种物质和能量的综合体。从国计民生的角度看，所谓地理信息，就是指资源与环境信息。所以，地理信息系统在一定的意义上就是资源与环境信息系统。

一、GIS在原理上是相关学科的集成

信息系统本身就是一项复杂的系统工程，它的内容是跨学科

的，往往是既涉及社会科学又涉及自然科学。从总体上说，建立信息系统除了服务于管理、规划与决策外，更重要的是进行信息储备的一项具有超前意义的预研究。

地理信息系统作为一门新的横断学科，它是具有自身研究内容的一个独立的研究领域，它的任务应是以地球科学与空间理论（欧几里德量度、矢量、拓扑空间等）为基础，运用系统工程的方法，以信息科学、计算机技术和遥感等现代科学技术作支撑，研究空间信息的采集、存贮、显示、管理，特别是空间综合分析、评价和系统应用。同时也研究更新空间信息的有效方法，探讨航空、航天遥感信息与其它类型信息的复合、综合评价与应用，以及在信息系统支持下进行专题制图的理论与方法，为解决资源清查、地区开发、区域规划、国土整治、环境保护、灾害预测和防治和工程建设等方面提供科学技术手段。

地理空间信息的传统资源是地图，GIS的查询与分析结果的表示手段主要也是地图。因此，地图学理论和地图分析方法是GIS的重要学科基础。

二、GIS在方法上是当代的有关高新技术的集成

作为一种新的技术系统，它的任务在于：不是对传统技术方法的简单抛弃，而是在互为补充的基础上作进一步的充实与提高。GIS作为新的技术方法对空间数据处理的各个主要环节应作大幅度的拓宽。

首先，在数据采集方面，可从点源延伸到立体空间；从瞬时延伸到多时相系列，使数据具有更深或更广的内涵。

其次，在数据处理方面，利用计算机加速数据分析与处理的过程，大大缩短自然变化过程的时间，从而可进行预测或预报，使环境动态分析由描述、解释现象进入到数据预报的新阶段。

迄今为止，尽管有不少地区性的地理信息系统在不同的程度上为应用部门服务，但总的说来，它仍被看作是一种新兴的“高技

术”，处于探索与发展的阶段，在基础理论、技术手段和应用模型等方面仍需进行大量的研究。因为地理信息系统的最大优点在于它的新功能，而不在于它能更有效和廉价地解决一些老问题。

首先遇到的是软件开发策略问题。通用的层次、网络和关系型（特别是非扩充关系型）的 DBMS 主要用来处理以商业和企业事务为代表的非空间数据，它们提供了属性、实体和关系的定义以及按特定准则查询数据库的各种功能。而以 GIS 为代表的空间数据处理提出了一些当前通用的 DBMS 所不能解决的定义与处理问题。这些问题总的说来归结为这样的事实：首先，GIS 所涉及的数据具有空间嵌套特征，要求软件系统具有处理复合物体（或复杂物体）（composite objects, complex objects, structured objects, molecular objects, aggregates etc.）的功能，这是当前最为流行的非扩充型关系数据模型由于其第一范式的限制而无法胜任的。此外，空间数据处理除了关心地理实体的属性价值之外，对实体间的联系尤其是空间联系给予了更大的关心。这种情况可通过用户对地理信息系统经常提出的问题来说明：

·城市点状公共设施（如影剧院、商场、电/汽车车站等）的合理布局。

·河流沿岸或交通沿线各级行政单元的人口数目的自动查询。

·水库淹没损失估算等。

因此，从长远讲需要研究专用的地理信息系统软件。

三、GIS 在信息范畴上是多源地理相关信息的集成

在过去，常规地图是表达地球科学研究成果的最基本的工具，地图被称之为“地理学的第二语言”。在计算机广为应用的今天，地理信息系统从内容范畴上看就是数字地图、遥感图像、有关地理文献、地理统计观测和科研成果等内容的集成。所谓集成就意味着并非简单的相加，而是指在统一管理的前提下，建立各有关部分之间的联系，使各有关部分可以互相参照，成为系统

的一个有机的组成部分。GIS 主要涉及四个领域的信息：地理基础(背景)信息、社会经济信息、资源与环境信息和数字地形信息。

四、GIS 应具有更深层次的分析与预测功能

空间数据处理从宏观上看可分为以下几种类型。

①专题层内部(水平)数据处理。

②专题层之间(垂直)数据处理。这里要强调的不仅是传统概念下的专题层之间，而且也应将所谓“地理基础(背景)层”作为一种特殊的专题层与其它传统的专题层进行有意义的集成分析处理。

③变焦数据处理。即随着观察范围的缩小，系统应提供类别更多、数量更大和细节更详细的信息(图 1-2)。

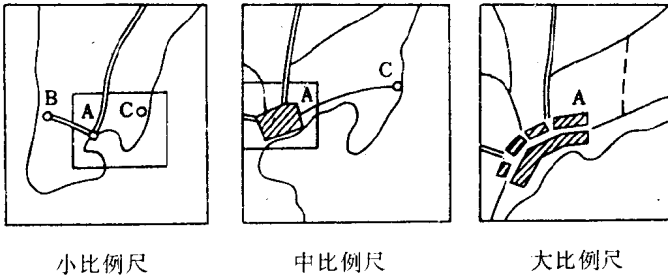


图 1-2 变焦信息检索示意图

④动态过程模拟。在进行动态过程的模拟时，GIS 的第四维信息——时间就起作用了。对动态过程的模拟是以数据模型为基础对地理信息进行处理，作出对状态的预报或对条件的优化。例如在 GIS 的数字高程模型 (DEM) 上进行径流模拟，在公路网上进行交通流量模拟和天气发展模拟等。

⑤运筹法数据处理。在运筹学中是利用等式或不等式附加条件对多变量函数进行优化。按照这种精确的(大都非常费事的)

或者启发式的（次优化的）方法可以处理以下一些 GIS 的问题：一个交通网两个结点之间的最短或风险最小路径；中国邮递员问题（即在走完一个交通网的所有路程时使非生产路径最小化）；穿行售货员问题（Travelling salesman problem，即使通过事先指定点的路径最小化）；确定一个运输网中的最大流量；确定供销部门的最佳地点（配置问题）；计算交通网的最佳时刻表；邮政局问题 [此问题的解决是以建立泰森（或 Voronoi*）多边形为前提，它包括全部参考点，每个蜂窝状面片包含一个参考点和一批其它点，后者离本参考点均比离其它参考点近]。

信息系统的基本功能是统一支配相关的海量信息，加快信息的处理速度，快速响应社会需求。这一方面节约时间、提高效率，直接创造社会财富；另一方面赢得预测、预报的时间，减少损失，间接获得经济效益。

§ 1.3 GIS 的数据范畴

GIS 所包含的数据均与地理空间（位置）相联系，以地理坐标的形式在地表进行定位，是一种地理参考（geo-referenced）数据。按其表达形式与内容性质的不同，GIS 中所包含的数据可划分如下。

一、按表达形式划分

按表达形式可分为空间数据和非空间数据两种基本数据类型。

* 俄国数学家伏罗诺依（G.Voronoi）首先详细地研究了邻近多边形，他在二次形的一篇论文中用到这种多边形（1908）。这种多边形又叫 Dirichlet（1850）镶嵌图，Thiessen（1911）多边形或 Wigner-Seitz（1933）网眼。Dan Hoey 提出了更有说明性（和公正的）术语“邻近多边形”，又叫区域邻接图：用来以显式表示面域的邻接关系。Voronoi 图与 Delaunay（1934）三角网互为对偶。〔F.P.Preparata（ed.）. Advances in computing research. computational geometry, 1983,（1）〕。

(一) 空间数据 (图形数据)

空间数据或称图形数据,它又可分为几何数据和关系数据两种。

1. 几何数据

几何数据是描述地理实体本身的位置和形状大小等的量度信息。其表达手段是坐标串。

为了用数字形式表示空间实体,需要选择合适的空间目标类型。从几何角度可把空间目标划分为点状、线状与面状目标三种基本类型。

·点状(0维)目标——在空间有确定位置但没有长度和面积的目标;例如,孤立点(标定一个几何位置)、拓扑交点或端点。

·线状(1维)目标——在空间有确定位置并有长度的目标,其端点由两个点状(0维)目标界定。

·面状(2维)目标——在空间具有确定位置,并有长度和面积的目标,它由若干个线状(1维)目标所界定。

点状、线状与面状目标之间应具有严密的拓扑(邻接、关联与包含等)关系,把无结构关系的数据(通常叫做面条数据)转换为具有上述拓扑关系的过程叫做“平面实施”(Plannar enforcement)。

平面实施每次执行一个层面。

平面实施的目的是:

- ①把数字形式的面条转换成目标;
- ②用简单的规则来查明数字化过程中的错误;
- ③通过平面实施,对来自外系统的数据,通过建立新数据关系使其转化为本系统的目标;
- ④使每一地点必须精确地位于一个区域;
- ⑤使相邻的面域没有裂隙也没有重叠。

平面实施的直接结果是: