

地理信息系统 原理与技术

华一新 吴升 赵军喜 编著



DILIXINXITONGYUANLIYUJISHU

解放军出版社

地理信息系统 原理与技术

华一新 吴 升 赵军喜 编著

解放军出版社

图书在版编目(CIP)数据

地理信息系统原理与技术/华一新等著. —北京:
解放军出版社, 2000
ISBN 7-5065-3967-5

I. 地… II. 华… III. 地理信息系统-教材
IV. P91

解放军出版社出版

(北京地安门西大街 40 号 邮政编码: 100035)
一二〇一工厂印刷 解放军出版社发行部发行
2001 年 2 月第 1 版 2001 年 2 月第 1 次印刷
开本: 850×1168 毫米 1/32 印张: 15
字数: 406.6 千字 印数: 1~3100 册

序

在地理学和地图学的百年发展中,地理信息系统(GIS)的出现和实用化是一件大事。“地理系统研究人类赖以生存、生活和影响所及的整个自然环境与社会经济环境,并把地理环境看作是一个运动着的发生和发展的世界”(陈述彭,1991)。一旦对地观测技术和空间分析方法提供了技术与方法的保证,地理信息系统的出现就是必然的了。由于地理信息系统的数据处理和制图的特殊功能,使科学家、研究人员和管理人员第一次尝到了随心所欲地处理空间数据和充分表现自己创造性空间思维的甜头,通过地理空间图形的分析与制图来不断修正、完善和深化自己的认识。

在信息技术高速发展的今天,我们可以从不同的角度进入地理信息学的领域,因为它对硬件和软件都有很强的依赖性,但GIS最重要的技术与方法学的基础则是地图学。这首先是因为,制图是一种认识方法,是一个创造性的认知环境和发现客观规律的过程。例如《肿瘤地图集》出版后,很多医学专家开始重视从区域性规律和环境诱因上去做进一步探索;魏格纳(A. Wegener 1880~1930)的板块学说源于地图阅读;用制作地震分布图去寻找断裂带;战场分析和作战决策要在地图上进行,等等。再者,人的信息获取的主渠道是视觉,而这些信息中又有一半以上是与空间位置有关的,即空间信息。而地图学则从来就是研究空间信息处理与显示的科学。近十几年的GIS开发实践证明,凡是忽视或缺少地图学基础的各种地理信息系统,都很难在实际工作中得到应用。

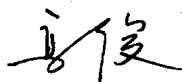
GIS是一个地理系统的模拟系统。完全地或局部地用一个系统模拟另一个系统,从而使认识得到深化,自古以来就在科学研究中使用了。用GIS来模拟地理系统区别于以往的传统方法之处,

在于信息技术提供了大量数据的处理能力和建立了可更新的数据库基础。这样,就可以根据地理系统建立动力学模型,进行动态数学模拟和预测,从而减少物理模拟的盲目性,提高宏观决策与工程设计的效率和水平。在对地球空间的认识过程中,逐步以动态的、多维的概念与方法代替静态的、定性的描述来完善空间与时间的协调,这是人类空间认知能力的一大进步。在此之前,“空间”概念除了更多的是在哲学上予以争论外,在地学研究中尚无法形成对自己所研究的领域的全面的解释。那些静态分析功能,地理学家早已在地图上实现过,而动态的、多维的分析只能在空间数据库和数字制图技术支持下的 GIS 中实现。

从另一个视角来看,现代 GIS 的最大贡献在于,在一个系统环境中既提供了启发使用者逻辑思维(建模、分析、计算等)又提供了启发形象思维(可视化、地图、图表等)的引擎,并能将二者密切结合,从而为启发使用者的创造性思维提供了极为便利的条件。

本书是华一新教授等三位青年科技专家在多年科研与教学实践的基础上撰写的,吸取了国内外大量的 GIS 开发的经验与方法;在内容选取上有很强的针对性;理论概念清晰;方法上强调可操作性,并针对当前一些 GIS 著作缺少测绘学基础的状况作了适当的补充。这是一本很具导向性的 GIS 专著,也是一本实用的 GIS 专业本科和地学领域研究生的教材。

世纪之交,祝这本总结上世纪研究成果的 GIS 专著在新世纪发挥它应有的作用。



2001 年 1 月

前 言

地理信息系统(GIS)属于信息技术,可以进行空间数据的获取、处理、管理、显示、检索、分析、建模、输出等,在国民经济和国防建设的各个方面都发挥着重要的作用。本书是在作者从事本科、研究生的 GIS 课程教学和参加多项 GIS 课题研究的基础上,参阅了大量国内外有关资料而编著的。

本书共十二章,较全面地介绍了 GIS 的原理与技术,并顾及了 GIS 的最新进展,可以作为地理学和测绘学的本科和研究生的教材,并可供从事 GIS 研究、开发、应用的研究人员和工程技术人员参考。全书的结构为:第一章,GIS 的基本概念。介绍了 GIS 的定义、发展、组成、应用和相关学科,以及 GIS 数据源的类型和特征;第二章,GIS 的空间数据结构。介绍了 GIS 的矢量数据结构和栅格数据结构;第三章,GIS 的空间数据库和数据模型。介绍了空间数据库和空间数据模型的基本概念,以及空间数据库的设计和建立;第四章,空间数据的数学基础。介绍了空间数据的数学基础,以及常用的地图投影和地图投影的变换方法;第五章,空间数据的输入。介绍了属性数据的编码、空间数据的采集和检核、空间数据的标准、空间元数据,还简要介绍了两种空间数据的交换格式;第六章,空间数据的质量。介绍了 GIS 数据质量的基本概念、常用方法、主要理论等,以及 GIS 中数据质量的评价方法;第七章,空间数据的处理。介绍了常用的空间数据处理算法,主要有:图形编辑、几何纠正、自动拓扑、矢量数据压缩、矢量栅格数据结构转换、空间数据的内插、图像数据的处理等;第八章,空间查询与空间分析。介绍了 GIS 中空间数据查询的基本内容,以及主要的空间分析功

能,如统计分析、地形分析、叠置分析、缓冲区分析、泰森多边形分析、网络分析、空间数据的量算等,同时还介绍了空间分析的模型和模型库及其管理系统;第九章,GIS 中的地图制图。介绍了地图符号的设计与管理、地图注记与图例配置、自动制图综合、地图设计的智能化等;第十章,GIS 的开发。介绍了项目的开发方法,以及工具型 GIS 和应用型 GIS 的开发过程;第十一章,RS、GPS 与 GIS 的结合。介绍了 RS 和 GPS 的基本概念,以及与 GIS 的结合方法和作用;第十二章,网络 GIS。介绍了计算机网络的基本概念、网络技术在 GIS 中的应用、Web GIS 的解决方案等。

编著者

目 录

第一章 GIS 的基本概念	(1)
§ 1.1 GIS 的定义	(1)
§ 1.2 GIS 的发展	(6)
§ 1.3 GIS 的组成	(11)
§ 1.4 GIS 的类型	(15)
§ 1.5 GIS 的应用	(17)
§ 1.6 GIS 的数据源	(20)
§ 1.7 GIS 的数据特征和数据类型	(21)
§ 1.8 GIS 的相关学科和技术	(22)
第二章 GIS 的空间数据结构	(28)
§ 1.1 矢量数据结构	(28)
§ 2.2 栅格数据结构	(33)
§ 2.3 矢量数据结构与栅格数据结构的比较	(39)
第三章 GIS 的空间数据库和数据模型	(41)
§ 3.1 空间数据库基础	(41)
§ 3.2 GIS 的传统空间数据模型	(50)
§ 3.3 GIS 的对象数据模型	(56)
§ 3.4 空间数据库的设计、建立与维护	(70)
§ 3.5 空间数据仓库	(76)
第四章 空间数据的数学基础	(83)
§ 4.1 空间数据的地理参照系	(83)
§ 4.2 地图投影	(85)
§ 4.3 地图投影变换	(94)
第五章 空间数据的输入	(97)
§ 5.1 GIS 属性数据的编码	(97)
§ 5.2 空间数据的采集	(102)

§ 5.3	空间数据标准	(108)
§ 5.4	两种空间数据交换格式简介	(110)
§ 5.5	GIS 空间元数据	(115)
§ 5.6	空间数据的互操作和 OpenGIS 规范	(122)
第六章	空间数据的质量	(128)
§ 6.1	GIS 数据质量概述	(128)
§ 6.2	GIS 数据质量的评价	(137)
§ 6.3	基于等高线的 DEM 内插算法评价方法	(143)
第七章	空间数据的处理	(152)
§ 7.1	空间数据的图形编辑	(152)
§ 7.2	空间数据的几何纠正	(158)
§ 7.3	空间数据的自动拓扑	(159)
§ 7.4	矢量数据的压缩	(165)
§ 7.5	空间数据的结构转换	(168)
§ 7.6	空间数据的内插	(177)
§ 7.7	图像数据的处理	(184)
第八章	空间查询与空间分析	(199)
§ 8.1	空间数据的查询	(199)
§ 8.2	空间数据的统计分析	(203)
§ 8.3	数字高程模型分析	(211)
§ 8.4	空间数据的叠置分析	(215)
§ 8.5	空间数据的缓冲区分析	(222)
§ 8.6	泰森多边形分析	(224)
§ 8.7	空间数据的网络分析	(229)
§ 8.8	空间距离的量算	(242)
§ 8.9	空间分析模型	(246)
第九章	GIS 中的地图制图	(265)
§ 9.1	GIS 中地图制图的基本原理	(265)
§ 9.2	地图符号的设计与管理	(278)

§ 9.3	地图注记与地图图例配置	(300)
§ 9.4	GIS 的自动制图综合	(320)
§ 9.5	GIS 中地图设计的智能化	(326)
§ 9.6	GIS 的地图输出	(330)
§ 9.7	多种形式的空间信息可视化	(345)
§ 9.8	GIS 中地图制图的常用算法	(358)
第十章	GIS 的开发	(368)
§ 10.1	项目开发方法	(369)
§ 10.2	工具型 GIS 的开发	(378)
§ 10.3	应用型 GIS 的开发和管理	(398)
第十一章	RS、GPS 与 GIS 的结合	(407)
§ 11.1	遥感(RS)与 GIS 的结合	(407)
§ 11.2	全球定位系统(GPS)与 GIS 的结合	(422)
第十二章	网络 GIS	(437)
§ 12.1	引言	(437)
§ 12.2	计算机网络的基本概念	(440)
§ 12.3	网络技术在 GIS 中的应用与实现	(449)
主要参考文献		(467)

第一章 GIS 的基本概念

§ 1.1 GIS 的定义

随着计算机技术的迅速发展和“信息高速公路”的逐步建立,人类社会已步入了信息时代,信息已成为社会赖以发展的重要基础,信息技术是高新技术之首。首先,我们对有关信息的几个概念作简要介绍。

1. 信息

信息是近代科学的一个专门术语,是客观世界中继物质和能量之后的第三个现代科学的基本概念,已广泛应用于社会的各个领域。

狭义的信息论将信息定量地定义为“两次不定性之差”,即指人们获得信息前后对事物认识的差别。例如,抛一枚硬币,这枚硬币是正是反,就有 1 比特(bit)的信息量。同理,计算机中的一个二进制位可以是 0 或 1,也具有 1 比特的信息量。

广义的信息论认为,信息是主体(人、生物或机器)与外部客体(环境、其他人、生物或机器)之间相互联系的一种形式,是主体和客体间一切有用的消息或知识,是表征事物特征的一种普通形式。

在本书中,将信息定义为——信息是客观事物的反映,它提供了客观事物的消息与知识。

2. 数据

数据是一种载存信息的物理符号。也就是说,信息可以由数据来表示,可以以数字、符号、字母等形式记载下来。

信息和数据是不可分离的,信息由数据表达,数据包含的意义就是信息。

数据是信息的载体,但数据并不就是信息,只有理解了数据的含义,对数据作出了解释,才能得到数据所包含的信息。

要从数据中得到信息必须经过处理和解释,处理是指对数据的收集、筛选、排序、转换、检索、计算、分析等,数据处理的目的是为了解释,而数据的解释需要知识和经验,不同的解释与不同的背景、目的有关。

在本书中,可以把信息和数据当作同义词。

3. 信息系统

系统是由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合而成的,具有特定功能的有机整体。

信息系统是加工和处理信息的系统,可以对信息进行采集、处理、传输、管理、检索、分析等,可以为决策过程提供有用的信息。

本书讨论的是以计算机为主要工具的信息系统。从计算机科学的角度看,信息系统由计算机硬件、软件、数据和用户四大部分组成。信息系统具有四大功能,即采集、管理、分析、表达。

4. 空间信息

要谈到地理信息系统就必然会涉及到空间信息的概念。空间信息是指与所研究对象的空间定位与地理分布有关的信息,即指研究对象的位置、数量、质量、分布特征、相互联系与制约等。空间信息由空间数据表达。

简单地说,所谓空间信息就是指具有定位数据的信息。例如,大到世界各大洲、各国家的地理分布,小到一幢房屋,一棵树,由于它们有定位数据(如用 X、Y、Z 坐标表示),所以都属于空间信息的范畴;而图书情报、财务等方面的信息,由于没有定位数据,就不属于空间信息。人类所使用的各种信息中,空间信息是其重要的组成部分,空间信息的分析利用在日常生活和军事行动中都已发挥了重要的作用。

空间信息包括空间位置、空间分布、空间形态、空间关系、空间相关、空间统计、空间趋势、空间对比和空间运动等方面的信息。空间位置是描述空间物体的个体位置的信息；空间分布描述的是空间对象的群体定位信息；空间形态是描述空间物体个体的形状和结构的信息；空间关系是指基于位置和形态的空间物体之间的关系；空间相关是空间物体之间基于属性数据的关系；空间统计描述的是空间物体的数、质量信息；空间趋势描述的是物体（现象）的空间分布趋势（规律）；空间对比描述空间物体在数量、质量和形态等方面对比的信息；空间运动描述空间物体随时间的变化和空间物体在空间域上的变迁和转移。

5. 空间信息的使用

在我们的生活中，有时会遇到这样一些问题：

- 一年来郑州—洛阳高速公路上的交通事故发生的位置在哪里？
- 在距伊河路小学 10 分钟步行距离内有多少二室一厅的房子出售？
- 目前，河南省哪些地方是移动电话的盲区？

回答这些问题，传统解决方案是使用一张纸质地图，在上面标注有关专题数据库中的数据，然后在地图上进行分析。为什么数据库中的数据能标注到地图上呢？这是由于存储在数据库中的信息 85% 以上都具有地理属性。比如，商店地址、客户地址、差转台坐标等。

如果将数据库中的属性数据叠加到电子地图上，并且将地图上的图形对象与属性数据建立联接关系。这样就可实现地图与数据库的双向查询，再增加一些地理分析功能后，就能在计算机上快速、准确地解答上面的问题了。

上述问题均可以通过对空间信息的分析和利用来解决。在现代社会中，空间信息的分析和利用已越来越广泛。下面介绍几个例子。

在高技术条件下,飞机已成为主要的作战兵器。尽管隐形飞机正在发展,但与之相对抗的雷达等防空系统也在发展,如何保证作战飞机能以最安全的路线和方式通过敌人的防空系统呢?在海湾战争中,美国空军电子安全指挥部研制的 IMOM 软件,可以在标明伊拉克防空情况的电子地图上,通过分析自动确定并显示最安全的飞行线路图,并可为飞行员指明何时、如何干扰敌方雷达,何处是敌方雷达因地形阻拦而形成的盲区,敌方武器红外或热寻的装置和监视设备的有效范围等,保证了作战飞机以最安全的路线和方式突入敌区,实施空袭。

我国许多城市建立的“110”报警台,以及与之相应的公安指挥自动化系统都涉及到空间信息的分析利用。当接到报警电话后,公安指挥自动化系统可通过电话号码的定位信息,自动显示事发地区的平面图;根据案件的发生地点、类型等,自动确定需要封锁的半径和路口;根据案发地区的警力状况(如人员、武器配置等),迅速调集警力,完成治安任务。

在经济建设中涉及到的空间信息的分析和利用的情况就更多。例如在市政建设中,在进行旧城改造,开辟或拓宽道路时,如果没有关于地下管网的准确的空间信息,就难以避免煤气管道、电缆等被挖断的情况,往往会造成重大损失。

即使在日常生活中,需要空间信息并对其加以分析利用的情况也比皆是。当你从火车站出来,面对一个繁华而陌生的城市时,如果有一个道路咨询信息系统,那么你只要按一下电钮,就可知道你所处的位置,只要你给出需要到达的地方,它就会告诉你最便捷的交通路线和方法,等等。

以上介绍的几个例子中的共同特征是,它们都需要对空间信息根据特定的目的和要求进行分析和利用。而地理信息系统就是用于进行空间信息的分析和利用的。

6. 地理信息系统

地理信息系统,简称 GIS(Geographic Information System),

至今没有一个正式或统一的定义,以下是一些资料的定义:

地理信息系统,是在计算机软件和硬件的支持下,运用系统工程和信息科学的理论,科学管理和综合分析具有空间内涵的地理数据,以提供对规划、管理、决策和研究所需信息的技术系统(地理信息系统概论,黄杏元等,高等教育出版社,1989)。

地理信息系统,是反映人们赖以生存的现实世界的现势与变迁的各类空间数据及描述这些空间数据特征的属性,在计算机软件和硬件的支持下,以一定的格式输入、存储、检索、显示和综合分析应用的技术系统(地理信息系统原理和方法,边馥苓 编著,测绘出版社,1996)。

地理信息系统,是一种由硬件、软件、数据和用户组成的,以研究地理或地学数据的数字化或图形化采集、存储、管理、分析、表达的计算机支持系统(应用地理信息系统设计与实现,马智民等,西安地图出版社,1996)。

地理信息系统是一种采集、存储、管理、分析、显示与应用地理信息的计算机系统,是分析和处理海量地理数据的通用技术(地理信息系统导论,陈述彭等,科学出版社,2000)。

Geographic information system are computer — based systems that are used to store and manipulate geographic information (GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS: A Management Perspective, Stan Aronoff, WDL Publications, Ottawa Canada, 1991)。

A Geographic System (GIS) is a computer — based information system that enables capture, modeling, manipulation, retrieval, analysis and presentation of geographically referenced data (GIS—A Computing Perspective, Michael F. Worboys, Taylor&Francis, 1995)。

英国著名地理信息系统和地图学家 D. Rhind 说:“如果问 100 个人,什么是地理信息系统,也许会有 99 种答案,但是地理信息系

统是一种技术。”从学术上讲,对 GIS 有三种观点:

(1)地图观——主要来自景观学派和制图学派,认为 GIS 是地图显示、处理与使用的系统,每个数据集被看作是地图、图层、要素等;

(2)数据库观——主要来自于计算机学派,强调优化设计、数据库技术和有效存取数据的重要性;

(3)空间分析观——主要来自地理学派,强调空间分析与模拟的重要性,并提出了地理信息科学的概念。

对于一个迅速发展的、尚未完全成熟的领域过早地追求一个完善的定义,并非明智之举。只要把握其基本特征和基本构成即可。因此,我们真正需要掌握的是 GIS 有什么用途? GIS 的结构是怎样的? 有那些关键技术? 如何开发和应用? 等等。

简单地讲,地理信息系统就是一门处理地理空间数据的技术。

“数据”是信息的具体表示方式。信息用数据描述后,计算机才能存贮和处理。

“地理”意味着数据是参照于地球的。

“空间”意味着数据所表示的事物是具有一定的点位、形状、性质等特征的。

“处理”是指用计算机对数据进行输入、管理、查询、分析等操作。

所以,地理信息系统就是对地理空间数据进行输入、管理、查询、应用的技术,因此其应用领域极为广阔,以上所举的几个例子只是地理信息系统在某些方面的应用。

§ 1.2 GIS 的发展

地理信息系统是处理地理空间信息的高技术,而地理空间信息并不是什么新东西,早在几千年前就表示在古地图上了,到目前为止,地图仍然是表示地理空间信息的最佳媒体。

最早的计算机是用来处理数字的,主要目的是解决数学问题,然后逐步发展为可以表示字符和文字了,利用数字和字符就可表示地理空间信息。但一开始(自 20 世纪 60 年代起)用计算机处理地理空间信息的目的是为了以计算机为手段进行地图生产,即开发计算机地图制图系统。在计算机地图制图系统的基础上,加拿大研制成功了第一个地理信息系统(CGIS,1971)用于自然资源的规划和管理。

由于计算机软硬件技术的飞速发展,地理信息系统朝着实用方向迅速发展起来。一些发达国家建立了许多专业性的地理信息系统,我国从 20 世纪 80 年代开始也着手 GIS 方面的研究,但与发达国家相比,差距仍然很大。

1. 国际上 GIS 的发展概况

(1)20 世纪 60 年代开始发展。随着社会的进步,对于自然资源 and 环境的规划、管理等要求越来越迫切,随着计算机技术的发展,促使了对地图的分析、应用和输出系统的研制。

第一个综合性的地图制图软件是美国哈佛大学 Howard T. Fisher 等研制的 SYMAP(Synagraphic Mapping System,1963)。

随着有关对空间数据的采集、存贮、检索、分析、显示和输出技术的发展,最终导致了 GIS 的产生。

1963 年,加拿大着手建立加拿大地理信息系统(CGIS),用于处理和应用加拿大土地调查所获得的大量数据,该系统于 1971 年正式投入运行,是国际上公认的、较为完善的、大型 GIS。

同时,有关的组织和机构纷纷建立。

- 1966,成立美国城市和区域信息系统协会(URISA)。
- 1969,成立美国州信息系统全国协会(NASIS)。
- 1968,国际地理联合会(IGU)成立了地理数据采集与处理委员会(CGDSP)。

这些组织相继举行了一系列 GIS 的国际研讨会,对 GIS 技术的发展和传播起到了重要的指导作用。