



# GIS空间分析 理论与实践

GISKONGJIAN FENXI  
LILUN YU SHIJIAN

田劲松 薛华柱◎著

中国原子能出版社



责任编辑：张 磊  
封面设计：刘思宇

ISBN 978-7-5022-9076-4



9 787502 290764 >

定价：48.00元

# GIS空间分析 理论与实践

GISKONGJIAN FENXI  
LILUN YU SHIJIAN

田劲松 薛华柱◎著

中国原子能出版社

此为试读, 需要完整PDF请访问: [www.cnki.com.cn](http://www.cnki.com.cn)

## 图书在版编目 (CIP) 数据

GIS 空间分析理论与实践 / 田劲松, 薛华柱著. --  
北京: 中国原子能出版社, 2018. 5  
ISBN 978-7-5022-9076-4

I. ①G… II. ①田… ②薛… III. ①地理信息系统-  
高等学校-教材 IV. ①P208. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 114932 号

## GIS 空间分析理论与实践

---

出版发行 中国原子能出版社 (北京市海淀区阜成路 43 号 100048)  
责任编辑 张 磊  
责任校对 冯莲凤  
印 刷 北京厚诚则铭印刷科技有限公司  
经 销 全国新华书店  
开 本 787mm×1092mm 1/16  
印 张 18.5  
字 数 400 千字  
版 次 2018 年 5 月第 1 版 2018 年 5 月第 1 次印刷  
书 号 ISBN 978-7-5022-9076-4 定 价 48.00 元

---

网址: <http://www.aep.com.cn>  
发行电话: 010-68452845

E-mail: [atomep123@126.com](mailto:atomep123@126.com)  
版权所有 侵权必究

# 前言

随着 GIS 在理论和软件研制水平上的不断提高,其应用范围不断扩大,而 GIS 的空间分析功能也成为人们倍加关注的热点。当前,GIS 技术的发展已从数据库型 GIS 进入分析型 GIS 的阶段,这对其空间分析的能力提出了更高、更新的要求。鉴于此,对 GIS 空间分析的研究成为一个非常重要的而且具有挑战性的研究课题。对 GIS 空间分析进行研究对于科学技术的进步以及社会的发展具有巨大的推动作用。

本书共分为十一章。第一章至第二章围绕 GIS 空间分析的基本知识进行了详细论述,内容涉及 GIS 的基本理论知识、空间分析的基本理论知识以及 GIS 与空间分析的关系等。第三章至第八章立足于 GIS 空间分析发展现状,分别从空间数据、数据模型、空间分析的内容、决策支持系统、分析方法以及空间数据挖掘模式等角度对 GIS 空间分析进行了阐述、分析。第九章就 GIS 空间分析的智能化发展进行了研究。第十章讨论了空间分析的主要软件。第十一章对 GIS 空间分析的应用与实践进行了分析。

长期以来,人们围绕 GIS 所做的研究和大量工作基本是建立庞大的空间数据库以及建立各种相关数据与空间位置或二、三维的坐标建立的一种连接关系,因而 GIS 空间分析技术的研究相对滞后于空间数据库的理论与技术。然而,伴随着“数字地球”“智慧城市”的兴起与发展,我们发现人们一直寄予厚望的 GIS 在现阶段的主要工作仍然是空间数据的管理,缺乏行之有效的数据分析。GIS 如果不提供空间数据的分析处理功能,它就蜕化为一个地理数据库。因而需要将 GIS 的研究焦点从数据库创建和系统开发建设,逐步转移到关注空间分析和空间分析建模上,挖掘对科学决策具有指导意义的信息,解决复杂多变的地学应用问题。而只有在空间分析强大理论基石上才能建立起灵活多样的应用模型,来满足不同用户方方面面的需求。在这样的背景下,本书得以问世。

从全书的整体结构和章节的核心内容来看,本书具有以下特点:

第一,全面性。本书第三章至第八章共六章篇幅,全面系统地介绍了 GIS 的各项知识。内容翔实,信息量丰富,以期给读者更全面、更综合的知识。

第二,实践性。本书理论与实践相结合,在对 GIS 空间分析技术进行研究的基础上,论述了其在现实社会生活中的具体应用。避免了流于空洞与说教,提高了本书的实用性。

第三,时代性。当前随着科学技术的不断发展,GIS 及其空间分析技术的应用领域越

来越广泛，针对 GIS 空间分析技术的研究如雨后春笋般迅速增多，本书响应时代和社会发展的号召，从多个角度全面探讨了 GIS 空间分析的各种理论及实践知识，以期给相关机构和人员带来有益的启迪。

需要说明的是，GIS 空间分析技术是随着时代的发展不断革新进步的，书中所提到的一些分析方法和技术也是不断发展完善的。各院校、相关机构及人士在开展相关的研究及教学工作时，要树立长远眼光，积极开拓眼界及思维，拓展 GIS 空间分析的应用及研究领域。只有这样，才能切实掌握其原理技术并应用到实践当中。

全书由安徽农业大学田劲松老师、河南理工大学薛华柱老师合作完成，共计 40 万字。其中田劲松老师负责全书统稿和第一、二、三、四、五章的撰写工作，合计 18 万字；薛华柱老师负责第六、七、八、九、十、十一章的撰写工作，合计 22 万字。

本书在编写过程中得到了相关领导的支持和鼓励，同时参考和借鉴了有关专家、学者的研究成果，在此表示诚挚的感谢！由于时间及能力有限，书中难免存在疏漏与不妥之处，欢迎广大读者给予批评指正！

# 目 录

第一章 GIS 与空间分析概述 .....	1
第一节 GIS 的基本概念、组成和功能 .....	1
第二节 GIS 的发展及发展动态研究 .....	10
第三节 空间分析的产生、定义与内容 .....	17
第四节 GIS 空间分析的思路和框架 .....	22
第二章 GIS 空间分析的理论基础 .....	25
第一节 空间关系理论及应用 .....	25
第二节 地理空间的内涵、认知和推理 .....	29
第三节 地理空间系统及一般问题 .....	37
第四节 GIS 空间分析的地理基础 .....	45
第三章 GIS 空间数据分析 .....	54
第一节 空间数据的基本特征与探索性分析 .....	54
第二节 空间数据的一般结构和索引 .....	57
第三节 空间数据的获取及质量控制 .....	62
第四节 空间数据的处理方式和管理手段 .....	71
第四章 GIS 空间分析模型 .....	78
第一节 空间数据模型的基本概念和组成 .....	78
第二节 空间分析模型的常见类型 .....	80
第三节 空间分析的建模过程和方法 .....	91
第四节 元胞自动机模型的产生及应用 .....	95
第五章 GIS 空间分析的内容 .....	105
第一节 空间目标形态量测及空间关系计算 .....	105
第二节 空间叠置和缓冲区分析 .....	113
第三节 网络分析与地形分析 .....	118

第四节 空间分布模式及插值分析·····	123
<b>第六章 基于 GIS 的空间决策支持系统·····</b>	<b>128</b>
第一节 空间决策支持系统概述·····	128
第二节 空间决策支持的相关技术·····	133
第三节 空间决策支持系统的应用——以城市设施规划为例·····	145
<b>第七章 基于空间数据的分析方法·····</b>	<b>154</b>
第一节 矢量数据的空间分析方法·····	154
第二节 三维数据的空间分析方法·····	166
第三节 栅格数据的空间分析方法·····	177
第四节 空间数据的统计分析方法·····	182
<b>第八章 基于空间关系的数据挖掘模式·····</b>	<b>199</b>
第一节 空间数据挖掘的步骤、任务及方法·····	199
第二节 空间聚类分析和有效性评价·····	206
第三节 空间异常探测的基本原理及方法分析·····	211
第四节 空间关联模式的基本原理和规则挖掘·····	217
<b>第九章 智能化空间发展·····</b>	<b>224</b>
第一节 空间分析的智能化与智能计算技术·····	224
第二节 基于智能体的空间信息处理·····	232
第三节 基于人工神经网络及遗传算法的地理空间问题分析·····	242
<b>第十章 常用的 GIS 空间分析软件·····</b>	<b>250</b>
第一节 ArcGIS 软件的空间分析功能·····	250
第二节 R 语言的空间分析功能·····	253
第三节 Geoda 的空间分析功能·····	254
第四节 Crimestat 及 WinBUGS、GeoBUGS 软件的空间分析功能·····	257
第五节 空间分析软件的一般功能及发展趋势·····	259
<b>第十一章 GIS 空间分析的应用与实践·····</b>	<b>262</b>
第一节 空间分析在自然疫源性疾病预防学中的应用·····	262
第二节 GIS 及空间分析技术在城市地价中的应用·····	268
第三节 空间分析在土壤重金属污染中的应用·····	272
第四节 空间分析方法在微生物生态学中的应用·····	276
第五节 GIS 空间分析法在其他领域的应用·····	281
<b>参考文献·····</b>	<b>284</b>

# 第一章 GIS 与空间分析概述

地理信息系统是一种采集、存储、管理、分析、显示和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，GIS 的功能是分析和处理地理数据。可见 GIS 的一半功能是分析数据，甚至可以说，GIS 处理地理数据的目的也是为了分析数据。空间分析因此被认为是地理信息系统区别于一般信息系统、CAD 或电子地图系统的主要功能特征，也是评价一个地理信息系统的主要指标。从长远来看，空间分析是 GIS 的核心和灵魂。因此，本章将对 GIS 与空间分析进行详细的论述。

## 第一节 GIS 的基本概念、组成和功能

### 一、GIS 的基本概念

#### (一) GIS 的定义

地理信息系统 (GIS—Geographic Information System) 是 60 年代后期发展起来，并引起世界各国广泛重视的新技术。它是介于信息科学，空间科学和地球科学之间的交叉学科。它的发展，同计算机技术，遥感技术，信息工程及现代地理学息息相关。目前，同地球资源与环境有关的各学科中，地理信息系统的应用极为广泛。

#### (二) GIS 的相关内容

##### 1. 信息和地理信息

###### (1) 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，以便向人们 (或系统) 提供关于现实世界新的事实知识，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。客观性是指信息都与客观事实相关，这是信息正确性和精确度的保证；适用性是指从大量数据中收集、组织和管理有用的信息，这是由建立信息系统目的性所决定的；可传输性指信息可以在系统内或用户之间以一定形式或格式传送和交换。随着网络技术的发展，信息的可传输性日益重要，信息的共享性是信息可传输性带来的结果，也就是信息可为多个用户共享。

信息来自数据。数据是未加工的原始资料，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，从实地调查数据中抽取出各专题信息，从遥感卫星图像数据中抽取各种图形和专题信息。

## (2) 地理信息。

地理信息 (Geographic Information) 是指与空间地理分布有关的信息，它表示地表物体和环境固有的数据、质量、分布特征，联系和规律的数字、文字、图形、图像等总称。地理信息属于空间信息。它与一般信息的区别在于它具有区域性，多维性和动态性。区域性是指地理信息的定位特征，且这种定位特征是通过公共的地理基础来体现的。例如，用经纬网或公里网坐标来识别空间位置，并指定特定的区域；所谓多维性是指在一个坐标位置上具有多个专题和属性信息，例如，在一个地面点上，可取得高程，污染，交通等等多种信息；动态性是指地理信息的动态变化特征，即时序特性。地理信息常以时间尺度划分成不同时间段信息，这就要求及时采集和更新地理信息，并根据多时相数据和信息来寻找时间分布规律，进而对未来做出预测和预报。

客观世界是一个庞大的信息源，随着现代科学技术的发展，特别是借助近代数学、空间科学和计算机科学，人们已能够迅速地采集到地理空间的几何信息、物理信息和人文信息，并适时适地地识别、转换、存储、传输、显示并应用这些信息，使它们进一步为人类服务。

## 2. 信息系统和地理信息系统

### (1) 信息系统。

信息系统 (Information System) 是具有采集、处理、管理和分析数据能力的系统，它能为单一的或有组织的决策过程提供各种有用信息。

从计算机的角度看，信息系统是由计算机硬件、软件、数据和用户四大要素组成的系统，用户包括一般用户和从事系统建立、维护、管理和更新的高级用户。

由于计算机技术的飞速发展及计算机应用的普及，不同问题领域的各种信息系统相继出现，且种类繁多，但从系统结构及处理方法看，主要分为下列几种：

①管理信息系统 (MIS—Management Information System) 是一种基于数据库的回答系统，它往往停留在数据级上支持管理者，如人事管理信息系统、财务管理信息系统、产品销售信息系统等等。

②决策支持系统 (DSS—Decision Support System) 是在 MIS 基础上发展起来的一种信息系统，它不仅为管理者提供数据支持，还提供方法和模型的可能支持，并对问题进行仿真和模拟，从而辅助决策者进行决策。

③智能决策支持系统 (IDSS—Intelligent Decision Support System) 是在决策支持系统中进一步引入人工智能 (AI, Artificial Intelligence) 技术。如：专家系统 (ES—Expert System) 解决非结构化问题，提高系统决策自动化程度。

④空间信息系统 (SIS—Spatial Information System) 是对空间数据进行采集、处理、管理和分析的信息系统。由于空间数据的特殊性，使空间信息系统的组织结构及处理方法有别于一般信息系统。

### (2) 地理信息系统。

地理信息系统是一种特定而又十分重要的空间信息系统。它是在计算机硬件与软件支

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空间信息系统。

随着地理信息系统的应用,而产生了多种相应系统。如自然资源管理信息系统,资源与环境信息系统,土地资源信息系统,空间数据处理系统,空间信息系统。这些系统研究的对象不同,但研究方法基本上是相似的。

地理信息系统是一门多技术交叉的空间信息科学,它依赖于地理学、测绘学、统计学等基础性学科,又取决于计算机硬件与软件技术、航天技术、遥感技术和人工智能与专家系统技术的进步与成就。此外,地理信息系统又是一门以应用为目的的信息产业。它的应用可深入到各行各业。

### 3. 地理信息系统与其他相关技术的区别

为了更好地理解地理信息系统的基本概念,以下就人们在理解上容易混淆的几个系统加以区别说明:

#### (1) 地理信息系统同 CAD (Computer Aided Design) 的区别。

CAD 主要是利用计算机代替或辅助工程设计人员进行各种设计。它处理的对象是规则的几何图形及其组合。因此,CAD 的图形处理功能极强,属性功能很弱。

地理信息系统处理的对象往往是自然目标(如某一区域土壤类型,地形等高线等),因此图形处理难度大。属性功能十分重要,图形和属性之间紧密联系,常具有丰富的属性库和符号库,它强调空间数据分析功能,且数据源及输入数据方法种类繁多,数据结构复杂。

一个功能很强的 CAD 软件,并不能代替地理信息系统工作,反之亦然。但由于 CAD 软件有很强的图形数据采集和编辑功能,有些地理信息系统将 CAD 作为数据采集的辅助工具。例如国际上流行的 AUTOCAD 软件,与很多地理信息系统之间有接口,以把 AUTOCAD 输入的图形数据传送给地理信息系统。美国 ESRI 公司和 AUTODESK 公司合作推出的 ARC-CAD,可以同 AUTOCAD 一起在微机上实现地理信息系统功能,并同地理信息系统软件 ARC/INFO 有机地结合起来。

#### (2) 地理信息系统同数字地图制图的区别。

数字地图是模拟地图在计算机中的表示形式。它主要考虑地形,地貌和其他专题要素在图上的表示,并以数字形式将地图存储,管理和在绘图仪上输出。数字地图制图系统强调的是图的表示,通常只对图形数据进行管理,而缺少对非图形数据的管理能力。

地理信息系统是按数据库管理系统,将图形数据和属性数据统一进行存储、处理和分析。它强调的是空间数据的结构和分析,因此,它不仅有图形数据库,还有非图形数据库,并把两者结合起来进行深层次分析。

尽管利用数字地图的集合,可以建立一个数字地图库,并用数据库管理技术对其实现查询和检索功能,但它决不可能像地理信息系统那样提供出规划和决策方案。这是因为地理信息系统中往往根据不同专业要求配有相应的分析模型,因此它有很强处理分析能力。

实际上,数字地图及制图应该是地理信息系统的重要组成部分。首先表现在数字地图是地理信息系统重要的数据源,数字地图制图系统中存储和管理的信息往往是地理信息系统所需要的。其次,地理信息系统中,处理分析结果常以数字地图形式来表现和输出。例如,对某区域进行土地利用规划后输出土地利用规划图,该输出功能包括数字地图的

制图。

### (3) 地理信息系统同事务处理系统的区别。

地理信息系统同一般事务处理系统及信息系统的主要区别在于地理信息系统处理的数据是空间数据,它不仅管理反映空间属性的一般的数字、文字数据,还要管理反映地理分布特征及其之间拓扑关系的空间位置数据,而且要把两者有机结合起来进行协调管理和分析。而事务数据处理系统,相对地简单得多。例如,电话管理系统可看作一个事务处理系统,它主要用来回答用户所询问的电话号码以及用户所在的地区,通讯地址等信息,其功能着重查询检索,没有深层次的分析功能。此外,地理信息系统对计算机硬件和软件资源要求比一般事务处理系统高。例如,地理信息系统必须具有处理空间数据的输入、输出装置,如数字化仪、扫描仪,绘图仪等。再有,由于地理信息系统处理数据量大,运算复杂,对计算机存储量、运算速度等的要求相应也高。

## 二、地理信息系统的类型

地理信息系统应用面广,技术潜力大,且发展极为迅速,因此很难用一个固定方法进行分类。但是,通常可从下面几种角度来分类。

### (一) 以研究对象性质和内容分类

#### 1. 综合性地理信息系统

按国家统一标准,存储管理全国范围内的各种自然和社会经济数据的地理信息系统,或对全球气候、人口、资源进行存储管理的全球地理信息系统。如加拿大国家地理信息系统,中国自然环境综合信息系统等。

#### 2. 专题性地理信息系统

指以某一专业,任务或现象为目标建立的地理信息系统,这种系统中数据项的内容及操作功能的设计都是为某一特定专业任务服务的。例如小流域综合治理地理信息系统,森林资源管理信息系统。

### (二) 以研究对象分布范围分类

#### 1. 全球性地理信息系统

这种系统研究区域范围往往涉及全球范围。如全球人口资源地理信息系统。

#### 2. 区域性地理信息系统

指以某种区域(如行政区)为对象进行研究管理、规划的信息系统。如美国明尼苏达州土地管理信息系统,我国黄土高原地理信息系统等。

### (三) 以地理信息系统应用功能分类

#### 1. 工具型地理信息系统

地理信息系统是一个复杂庞大的空间管理信息系统。用地理信息系统技术解决实际问题时,有大量软件开发任务,如各用户重复开发对人力财力是很大的浪费。工具型地理信息系统为地理信息系统的使用者提供一种技术支持,使用户能借助地理信息系统工具中的功能直接完成应用任务,或者利用工具型地理信息系统,加上专题模型完成应用任务。目

前国外已有很多商品化的工具型地理信息系统。如 ARC/INFO, GENAMAP, MAPINFO, MGE 等。国内近几年正在迅速开发工具型地理信息系统,并取得了很大的成绩。

## 2. 应用型地理信息系统

应用型地理信息系统的开发分两类,一类是借助工具型地理信息系统开发的,另一类是为某专业部门应用自行开发的,这种系统的针对性明确,专业性强,系统开销小,适于在本专业中推广使用。

### (四) 以地理信息系统数据结构类型分类

地理信息系统的数据结构直接影响它的输入、存储、管理及输出方法和手段。

#### 1. 矢量数据结构地理信息系统

指以坐标对来表示空间数据的点、线和面等图形的地理信息系统。

#### 2. 栅格数据结构地理信息系统

指以二维数组来表示空间各像元特征的地理信息系统。

#### 3. 混合数据结构地理信息系统

由于矢量数据结构地理信息系统和栅格数据结构地理信息系统的特点不同,适用范围不同,相互之间不能互相替代,因此出现了矢量数据结构和栅格数据结构并存的地理信息系统。

矢量栅格数据结合通常采用矢量和栅格数据相互间转换来实现。这方面出现了很多算法,但这种转换不仅花费时间,主要是经过转换后,使原始信息受到不同程度的损失。因此,研究者一直在探索和寻找一体化的数据结构,即混合数据结构,在这方面尽管取得了一些成绩,但技术尚不成熟。

## 三、地理信息系统的结构与功能

### (一) 地理信息系统的组成

地理信息系统主要由四部分组成:即计算机硬件系统,计算机软件系统,空间数据及系统的组织和使用维护人员即用户。空间数据反应了应用地理信息系统的信息内容,用户决定了系统的工作方式。

#### 1. GIS 硬件系统

##### (1) GIS 硬件系统的构成。

地理信息系统的建立必须有一个计算机硬件系统作为保证,用以存储、处理、传输和显示地理信息或空间数据。计算机与一些外部设备及网络设备的连接构成了 GIS 的硬件环境。总体上地理信息系统的硬件包括:处理设备、外部设备(输入设备和输出设备)、网络设备和存储设备等。

##### ①计算机。

计算机是硬件系统的核心,包括从主机服务器到桌面工作站,用作数据的处理、管理与计算。目前运行 GIS 的计算机包括大型机、中型机、小型机,工作站,服务器/客户机和 PC 机。其中,各种类型的服务器/客户机成为 GIS 的主流,特别是由 Intel 硬件和 Windows Server 技术构成的 PC 工作站正成为工作站市场的新宠,传统 UNIX 阵营的用户正

在逐渐向其转移。工作站对 GIS 用户具有很大的吸引力,包括低成本、可管理性、标准图形化平台和具有 PC 结构与效率等优势,因此广泛应用于 GIS 和某些科学应用领域。

近几年,随着地理信息共享交换技术、GIS 的发展,对 GIS 处理设备的要求越来越高,刀片服务器也逐渐引入了 GIS 系统的建设,成为 GIS 硬件系统的重要成员之一。所谓刀片服务器,准确地说应叫作刀片式服务器 (blade server),是指在标准高度的机架式机箱内可插装多个卡式的服务器单元,实现高可用和高密度。每一块“刀片”实际上就是一块系统主板。

它们可以通过“板载”硬盘启动自己的操作系统,如 Windows Server、Linux 等,类似于一个个独立的服务器。在这种模式下,每一块主板运行自己的系统,服务于指定的不同用户群,相互之间没有关联。不过,管理员可以使用系统软件将这些主板集成为一个服务器集群。在集群模式下,所有的主板可以连接起来提供高速的网络环境,并同时共享资源,为相同的用户群服务。在集群中插入新的“刀片”,就可以提高整体性能。由于每块“刀片”都是热插拔的,所以,系统可以轻松地替换,并且将维护时间减少到最小。刀片式服务器已经成为高性能计算集群的主流,在全球超级 500 强和国内 100 强超级计算机中,许多新增的集群系统都采用了刀片架构。采用刀片服务器可以极大减少所需外部线缆的数量,可以大大降低由于线缆连接故障带来的隐患,提高系统可靠性。

#### ②外部设备。

外部设备包括输入、输出设备,又可分为常规设备和测绘地理信息的专用设备。其中,常规设备包括扫描仪、键盘、鼠标、绘图仪、打印机等计算系统通周的输入设备;专用设备包括数字化仪全站型测量仪器(全站仪)、数字摄影测量工作站、GPS、三维激光扫描仪等。

数字化仪由电磁感应板、(标 Y)应的电子线路组成。当使用者在电磁感应板上移动游标的十字丝交点对准指定图形的点位时,按动相应的按钮,数字化仪便将对应的命令符号和该点的坐标(X, Y)通过接口(多用串行接口)电路传送给计算机。手扶跟踪数字化仪的速度慢,工作效率较低。由于大幅面图形扫描仪可以提供高分辨率、真彩色、近乎完美的图像效果,它已成为图形、图像数据录入和采集最有效的工具之一。绘图仪是一种快速、可靠、便于联网,且可在多种介质上进行高质量输出的绘图仪器,是目前广泛使用的主流 GIS 产品输出设备,可获得极高清晰度的绘图质量。GIS 还有多种表格、文字的数据需要输出,可利用多种打印机完成。图形显示终端用于图形的交互式输入、编辑、分析、处理和输出。

#### ③网络设备。

网络设备包括布线系统、网桥、路由器和交换机等,具体的网络设备根据网络计算的体系结构来确定。

从 20 世纪 90 年代以来,计算机技术的飞速发展不断改变着 GIS 的结构体系,从主机及终端结构到 client/server,再到 Internet/Intranet。目前,基于客户/服务器机体系结构并在局域网、广域网或互联网支持下的分布式系统结构已经成为 GIS 硬件系统的发展趋势,因此,网络设备和计算机通讯线路的设计成为 GIS 硬件环境的重要组成部分。

#### ④存储设备。

数据存储设备,如移动硬盘、磁盘阵列等。近几年逐渐兴起的云存储快速发展和广泛

应用也已成为一种重要的存储设备和方式。云存储是在云计算概念上延伸和发展出来的一个新概念,是一种新兴的网络存储技术,是指通过集群应用、网络技术或分布式文件系统等功能,将网络中大量各种不同类型的存储设备通过应用软件集合起来协同工作,共同对外提供数据存储和业务访问功能的一个系统。当云计算系统运算和处理的核心是大量数据的存储和管理时,云计算系统中就需要配置大量的存储设备,那么云计算系统就转变成为一个云存储系统,所以云存储是一个以数据存储和管理为核心的云计算系统。简单来说,云存储就是将储存资源放到云上供人存取的一种新兴方案。使用者可以在任何时间、任何地方,通过任何可联网的装置连接到云上方便地存取数据。

## (2) GIS 硬件系统的组成模式。

根据 GIS 功能、性能和服务需求的不同,可形成不同的硬件配置和组合方式,形成单机模式、局域网模式和广域网模式。

### ①GIS 硬件的单机模式。

单机模式是一种单层的结构,在这种结构中 GIS 的硬件组件集中在一台独立的计算机设备中,通常为单用户提供 GIS 资源的使用。单机硬件模式支撑下的 GIS 系统,虽然计算机可供多个用户操作该系统,但其突出特点为所有任务在一台计算机上完成:单机模式是早期 GIS 系统的主要使用方式,时至今日单机模式仍然是一种重要的 GIS 硬件模式。该模式适用于小型 GIS 建设,具有简单稳定等优点,但也存在数据传输与资源共享不方便等缺点。

### ②GIS 硬件的局域网模式。

局域网模式常用于企业内部网、服务器集群、客户机群、磁盘存储系统、输入设备、输出设备等支持的客户/服务器(C/S)模式的 GIS。根据网络协议组成标准的局域网,目前广泛使用的网络协议为 TCP/IP 协议。这种局域网由于常用于企业内部,所以也可以认为这是一种企业内部网的 GIS 硬件模式。本质上企业内部网是一个企业级计算机局域网,提供一个企业机构内的多用户共享操作服务。这种系统的结构模式是个两层结构,其形成的 GIS 系统可将 GIS 的资源和功能被适当地分配在服务器和客户机两端,所有的客户端通过企业内部网,共享网络资源,进行信息共享和交换。GIS 硬件的局域网模式中,通过局域网络,将存储系统、服务器系统、输入和输出设备、客户机终端进行网络互连,能方便地实现数据资源、软硬件设备资源、计算资源的共享。

### ③GIS 硬件的广域网模式。

当 GIS 用户分布地域广泛时,不适合采用局域网的专线连接。此时需采用 Internet 连接形成广域网。广域网模式中通常由 Internet、服务器集群、客户机群、磁盘存储系统、输入输出设备等组成。在广域网模式支持下的 GIS 系统通常是三层结构模式,由 GIS 服务器、Web 服务器和客户端浏览器构成。此时的 GIS 系统可以由企业内部网和外部网共同组成的客户/服务器、浏览器/服务器的混合模式组成。客户端浏览器通过 Web 服务器访问 GIS 服务器的资源。该模式的 GIS 系统已得到了广泛的应用,如天地图、Google 地图、百度地图等。

## 2. GIS 软件系统

软件是 GIS 系统的核心,用于执行 GIS 功能的各种操作,包括数据输入、处理、数据库管理、空间分析和图形用户界面(GUI)等。按照其功能分为:GIS 专业软件、数据库

软件、系统管理软件、系统开发工具软件等。

GIS 专业软件一般指具有丰富功能的通用 GIS 软件,用以完成地理信息系统所具备的各项功能的软件。它在操作系统和数据库软件支持下管理和应用地理信息数据,运行地理信息系统功能模块,为用户提供地理信息系统的服务。GIS 专业软件包含了处理地理信息的各种高级功能,可作为其他 GIS 应用系统建设的平台,它们一般都包含以下主要核心模块。

(1) 数据输入和编辑。支持手扶跟踪数字化仪数字化、图形扫描及矢量化,以及为图形和属性数据提供修改和更新等编辑操作。

(2) 空间数据管理。能对大型、分布式、多用户数据库进行有效的存储检索和管理。数据处理和分析能转换各种标准的矢量格式和栅格格式数据,完成地图投影转换,支持各类空间分析功能等。

(3) 数据输出。提供地图制作、报表生成、符号生成、汉字生成和图像显示等。

(4) 用户界面。提供生产图形用户界面工具,使用户不用编程就能制作友好和美观的图形用户界面。

(5) 系统二次开发能力。利用提供的应用开发语言,可编与各种复杂的 GIS 应用系统。

数据库软件除了在 GIS 专业软件中用于支持复杂空间数据的管理软件以外,还服务于包括以非空间属性数据为主的数据库系统,这类软件有: Oracle, Sybase, Informix, DB2, SQL Server, Ingress 等。它们也是 GIS 软件的重要组成部分,这类数据库软件具有快速检索、满足多用户并发和数据安全保障等功能,已实现在现成的关系型商业数据库中存储 GIS 的空间数据,例如 SDE (spatial database engine, 空间数据库引擎) 就是目前最好的解决方案。

系统管理软件主要指计算机操作系统。如 UNIX、Linux、Windows 系列等,它们关系到 GIS 软件和开发语言使用的有效性,因此也是 GIS 软硬件环境的重要组成部分。

系统开发工具软件主要为 GIS 应用系统开发服务,如 Visual C++、Java、Delphi 等。地图组件如 ESRI 的 ArcObjects、ArcEngine 以及 MapInfor 的 MapX 等。

### 3. 空间数据

空间数据是地理信息的载体,也是地理信息系统的操作对象,它具体描述地理实体的空间特征、属性特征和时间特征。空间特征是指地理实体的空间位置及其相互关系;属性特征表示地理实体的名称、类型和数量等;时间特征指实体随时间而发生的相关变化。

根据地理实体的空间图形表示形式,可将空间数据抽象为点、线、面三类元素,它们的数据表达可以采用矢量和栅格两种组织形式,分别称为矢量数据结构和栅格数据结构。

在地理信息系统中,空间数据是以结构化的形式存储在计算机中的,称为地理空间数据库。数据库由数据库实体和数据库管理系统组成。数据库实体存储有许多数据文件和文件中的大量数据,而数据库管理系统主要用于对数据的统一管理,包括查询、检索、增删、修改和维护等。

由于 GIS 数据库存储的数据包含空间数据和属性数据,它们之间具有密切的联系。因此,如何实现两者之间的连接、查询和管理,是 GIS 数据库管理系统必须解决的重要问题。

#### 4. GIS 管理、操作和应用人员

人是 GIS 的重要构成因素。地理信息系统从其设计、建立、运行到维护的整个生命周期，处处都离不开人的作用。仅有系统软硬件和数据还不能构成完整的地理信息系统，需要人进行系统组织、管理、维护和数据更新、系统扩充和完善、应用程序开发，并灵活采用地理分析模型提取多种信息，为研究和决策服务。一个周密规划的地理信息系统项目应包括负责系统设计和执行的项目经理、信息管理人员、应用工程师以及最终用户。

GIS 开发是一项以人为本的系统工程，在其完整的生命周期中，处处离不开 GIS 相关人员，包括用户机构的状况分析和调查，GIS 系统开发目标的确定，系统开发的可行性分析，系统开发方案的选择和总体设计书的撰写等。而对具体开发策略的确定、系统软硬件的选择和空间数据库的建立等则是系统开发过程中需要解决的问题。

GIS 应用人员包括具有地理信息系统知识的高级应用人才、具有计算机知识的软件应用人员、具有较强实际操作能力的软硬件维护人才等，他们的业务素质和专业性是 GIS 工程及其应用成败的关键：

在使用 GIS 时，应用人员不仅需要对 GIS 技术和功能有足够的了解，而且需要具备有效、全面和可行的组织管理能力，尤其在当前 GIS 技术发展十分迅速的情况下。为使现行系统始终处于优化的运作状态，其组织管理和维护的任务包括：GIS 技术和管理人员的技术培训、硬件设备的维护和更新、软件功能扩充和升级、操作系统升级、数据更新、文档管理、系统版本管理和数据共享性建设等。

#### 5. 应用模型

应用模型是指所研究事物、过程或系统的一种抽象表达形式，它可以是物理实体，也可以是图形或数学表达式。地理信息系统中的应用分析模型是指人们在解决实际问题中所总结、归纳或推理出的能够科学地描述和解决实际问题的一些数学模型。

GIS 应用模型的构建和选择是系统应用成败至关重要的因素。虽然 GIS 为解决各种现实问题提供了有效的基本工具，但对于某一专门应用目的的解决，必须构建专门的应用模型，例如土地利用适宜性模型、选址模型、洪水预测模型、人口扩散模型、森林增长模型水土流失模型、最优化模型和影响模型等。这些应用模型是客观世界中相应系统经由观念世界到信息世界的映射，反映了人类对客观世界利用改造的能动作用，是 GIS 技术产生社会经济效益的关键所在，也是 GIS 生命力的重要保证，因此在 GIS 技术中占有十分重要的地位。

构建 GIS 应用模型，首先，必须明确用 GIS 求解问题的基本流程；其次，根据模型的研究对象和应用目的，确定模型的类别、相关的变量、参数和算法，构建模型逻辑结构框图；再次，确定 GIS 空间操作项目和空间分析方法；最后，确定模型运行结果的验证、修改和输出。显然，应用模型是 GIS 与相关专业连接的纽带，它的建立绝非是纯数学或技术性问题，而必须以坚实而广泛的专业知识和经验为基础，对相关问题的机理和过程进行深入的研究，并从各种因素中找出其因果关系和内在规律，有时还需要采用从定性到定量的综合集成法，这样才能构建出真正有效的 GIS 应用模型。

#### (二) 地理信息系统的主要功能模块

地理信息系统软件一般由五部分组成，即空间数据输入管理、空间数据库管理、空间