地信网论坛 BBS.3S001.COM

《地理信息系统原理》讲义

目　录

第一章　GIS 概述 1
1 GIS 是什么 1
2 GIS 可以做什么 2
3 GIS 的发展历程 3
4 GIS 的发展趋势 4
5 GIS 与一般 IS、CAD、CAM 的联系与区别 4
第二章　地理信息系统空间特性 5
1 地球模型 5
2 地理空间坐标 5
3 坐标参考系统 5
4 地图投影 6
5 地图比例尺 7
6 空间现象及其描述 7
7 地理数据 10
8 元数据 11
第三章　空间数据结构 11
1 空间数据结构 11
2 栅格数据结构 11
3 矢量数据结构 15
4 矢栅一体化数据结构 18
习　题 24
第四章　数据采集与输入 24
1 GIS 数据来源 24
2 数据规范化和标准化 24
3 数据输入 24
4 空间数据的编辑与处理 27
第五章　空间数据管理：空间数据库 27
1 数据库的基本概念 27
2 数据库系统的主要数据模型 29
3 地图数据模型总论 31
第六章　空间分析 33
1 空间分析概述 33
2 空间分析的定义 34
4 空间查询 36
5 空间量算 37
6 常见的空间分析 38
第七章　数字高程模型 46
1 DTM 和 DEM 46
2 DEM 建立 48
3 DEM 的应用 50

原版地质论坛：http://bbs.3s001.com/

地信网论坛 BBS.35001.COM

第一章　GIS 概述

1 GIS 是什么？

1.1 信息与数据

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，是现实世界在人们头脑中的反映。信息具有客观性、适用性、可传输性和共享性等特征。

> 客观性：任何信息都是与客观事实相联系的，这是信息的正确性和精确度的保证。
>
> 适用性：问题不同，影响因素不同，需要的信息种类是不同的。信息系统将地理空间的巨大数据流收集，组织和管理起来，经过处理、转换和分析变为对生产、管理和决策具有重要意义的有用信息，这是由建立信息系统的明确目的性所决定的。
>
> 传输性：信息可在信息发送者和接受者之间进行传输信息的传输网络，被形象地称为“信息高速公路”。
>
> 共享性：信息与实物不同，信息可传输给多个用户，为用户共享，而其本身并无损失，这为信息的并发应用提供可能性。

数据（data）是指能被计算机进行处理的一切对象，包括数字、文字、符号、图形、图像等。数据是一种未经加工的原始资料，格式依赖具体的计算机系统，随载荷它的物理设备的形式而改变。

信息与数据是不可分离的，信息来源于数据。即信息是数据的内涵，是数据的内容和解释。也就是说数据是信息的载体，只有理解了数据的含义，才能得到数据中所包含的信息。

信息可以离开信息系统而独立存在，也可以离开信息系统的各个组成和阶段而独立存在；而数据的格式往往与计算机系统有关，并随载荷它的物理设备的形式而改变。数据是原始事实，而信息是数据处理的结果。不同知识、经验的人，对于同一数据的理解，可得到不同信息。

> 有人认为，输入的都叫数据，输出的都叫信息，其实不然。数据是信息的表达、载体，信息是数据的内涵，是形与质的关系。只有数据对实体行为产生影响才成为信息，数据只有经过解释才有意义，成为信息。例如“1、”“0”独立的 1、0 均无意义。当它表示某实体在某个地域内存在与否，它就提供了“有”“无”信息，当用它来标识某种实体的类别时，它就提供了特征码信息。

1.2 地理信息、地理数据与地学信息

地理信息指与研究对象的空间地理分布有关的信息。它表示地理系统诸要素的数量、质量、分布特征，相互联系和变化规律的图、文、声、像等的总称。地理信息具有地域性、多维结构和时序性等特征。

> 地域性：是地理信息区别于其它类型信息的最显著标志。地理信息属于空间信息，位置的识别与数据相联系，它的这种定位特征是通过公共的地理基础来体现的。
>
> 多维结构：指在同一位置上可有多种专题的信息结构，即在二维空间的基础上实现多专题的第三维结构。
>
> 时序特征：时空的动态变化引起地理信息的属性数据或空间数据的变化。因此，一实时的 GIS 系统要求能及时采集和更新地理信息，使得地理信息具有现势性，以免过时的信息造成决策的失误或因为缺少可靠的动态数据，不能对变化中的地理事件或现象作出合理的预测预报和科学论证。例如 1998 年龙王庙特大洪水险情正是武汉勘测设计院利用先进的遥感、GPS 技术测得实时数据为抗洪决策提供可靠依据。显然，如果用过时数据，这将造成多大的损失，这就是地理信息的时序特征。

地理数据则是各种地理特征和现象间关系的符号化表示，包括空间位置、属性特征及时域特征三部分。

> 空间位置、属性及时间是地理空间分析的三大基本要素。空间位置数据是通过经纬网或公里网建立的地理坐标来实现空间位置的识别的；属性数据是描述地物特征的定性或定量指标；时域特征是指地理数据采集或地理现象发生的时刻或时段。

顶级地质论坛：http://bbs.35001.com/

地信网论坛 BBS.3S001.COM

地学信息：与人类居住的地球有关的信息都是地学信息。

> 地理信息与地学信息两者的信息源不同。地理信息的信息源是地球表面的岩石圈、水圈、大气圈和人类活动等；地学信息所表示的信息范围更广泛，不仅来自地表，还包括地下、大气层甚至宇宙空间。它是人们深入认识地球系统、适度开发资源、保护环境的前提和保证。

1.3 信息系统与地理信息系统

系统：由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合而成，能完成特定功能的有机整体。

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，它具有采集、管理、分析和表达数据的能力。

> 从适用于不同管理层次角度出发、信息系统分为下列不同类型：
> 事务处理系统、管理信息系统：主要支持操作层人员的日常事务处理，图书管理，借还书。
> 决策支持系统：从 MIS 中获取信息，进行推测，以辅助决策。
> 人工智能、专家系统：用计算机模仿人类思维过程进行推理，在医学上应用较成功。
> 为有效地对信息流进行控制，组织、管理、充分利用，就需要建立某种信息系统，那么对地理信息进行管理、利用就需要建立地理信息系统。

地理信息系统（Geographic Information System，简称 GIS）在不同的应用领域、不同的专业，对它的理解是不一样的，想用简单的几句话是不能解释地理信息系统概念的，目前国内外对 GIS 有许多定义。通常对 GIS 定义有：

a. GIS 是为了获取、存储、检索、分析和显示空间定位数据而建立的计算机化的数据库管理系统。(美国国家地理信息与分析中心)

b. GIS 是一种获取、存储、检索、操作、分析和显示地球空间数据的计算机系统。(英国教育部)

c. GIS 是由计算机系统、地理数据和用户组成，通过对地理数据的集成、存储、检索、操作和分析，生成并输出各种地理信息。

d. GIS 是在计算机软件和硬件支持下，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。

e. GIS 是以地理空间数据库为基础，采用地理模型分析方法，适时提供多种空间的和动态的地理信息，为地理研究和地理决策服务的计算机技术系统。

f. 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、经济等专题信息以及这些信息之间的联系等进行获取、组织、存储、检索、分析，并在管理、规划与决策中应用。

g. GIS 是在计算机软硬件支持下，以采集、存储、管理、检索、分析和描述空间物体的定位分布及与之相关的属性数据，并回答用户问题为主要任务的计算机系统。

对其理解：

GIS 从外部来看，它表现为计算机软硬件系统；而其内涵是由计算机程序和地理数据组织而成的地理空间信息模型，是一个逻辑缩小的、高度信息化的地理系统。GIS 是一计算机系统，既然是系统，就要具有系统的基本功能，数据采集、管理、分析和表达，所以每个 GIS 系统都是由若干具有一定功能的模块组成。

GIS 是空间数据和属性数据的综合体，GIS 的处理对象是有关的地理分布数据，也就是空间数据，为了能对这些空间数据进行定位，定性和定量的描述，决定了 GIS 要对空间数据按统一地理坐标进行编码，这是 GIS 与其他信息系统不同的根本所在。

2 GIS 可以做什么？

2.1 数据采集与输入

数据采集与输入，即在数据处理系统中将系统外部的原始数据传输给系统内部，并将这些数据从

地信网论坛 http://bbs.3s001.com/

地信网论坛 BBS.3S001.COM

外格式转换为系统便于处理的内部格式的过程。对多种形式、多种来源的信息，可实现多种方式的数据输入。主要有图形数据输入、栅格数据输入、GPS 数据输入、属性数据输入。

2.2 数据编辑与更新

数据编辑主要包括图形编辑和属性编辑。属性编辑主要与数据库管理结合在一起完成，图形主要包括拓扑关系建立、图形编辑、图形整饰、图幅拼接、图形变换、投影变换、误差校正等功能。数据更新即以新的数据项或记录来替换数据文件或数据库中相对应的数据项或记录，它通过删除、修改、插入等一系列操作来实现的。由于空间实体都处于发展的时间序列中，人们获取的数据只反映某一瞬时或一定时间范围内的特征。随着时间的推进，数据会随之改变。数据更新可以满足动态分析的需要，对自然现象的发生和发展作出合乎规律的预测预报。

2.3 数据存储与管理

数据存储，即将数据以某种格式记录在计算机内部或外部存储介质上。其存储方式与数据文件的组织密度相关，关键在于建立记录的逻辑顺序，即确定存储的地址，以便提高数据存取的速度。属性数据管理一般直接利用商用关系数据库软件，如 ORACLE、SQLserver 等进行管理。空间数据管理是 GIS 数据管理的核心，各种图形或图像信息都以严密的逻辑结构存放在空间数据库中。

2.4 数据显示与输出

数据显示是中间处理过程和最终结果的屏幕显示，通常以人机交互方式来选择显示的对象与形式，对于图形数据根据要素信息量和密集程度，可选择放大或缩小显示。GIS 不仅可以输出全要素地图，还可以根据用户需要，分层输出各种专题图、各类统计图、图表及数据。

2.5 空间查询与空间分析

GIS 的面向用户的应用功能不仅仅表现在它能提供一些静态的查询、检索数据，更有意义的在于用户可以根据需要建立一个应用分析的模式，通过动态的分析，从而为评价、管理和决策服务。

3 GIS 的发展历程

GIS 起源于人口普查，土地调查和自动制图，1960 年，加拿大测量学家 R.F.Tomlinson 提出了把地图变成数字形式的地图，1963 年，又提出 GIS 这一本术语，并建立了第一个 GIS——加拿大 GIS，随后 GIS 以燎原之势在全世界迅速发展起来。

3.1 国际 GIS 的发展历程

（1）60 年代，探索时期（GIS 思想和技术方法的探索）：人们关注什么是 GIS、GIS 能干什么。

（2）70 年代，巩固时期（这时由于计算机技术及其在自然资源和环境数据处理的应用，促进 GIS 迅速发展）。这期间，发展研究的重点是空间数据处理的算法、数据结构和数据库管理这三个方面。

（3）80 年代，实破阶段，也是 GIS 普遍发展和推广应用阶段：人们把 GIS 与 RS 结合解决全球性问题，如全球沙漠化、全球可居住地评价、核扩散问题等。

（4）90 年代以来，全面应用、产业化阶段：对 GIS 进一步研究，研究的内容集中在空间信息分析的新模式和新方法、空间关系和数据模型、人工智能引入等。

3.2 我国 GIS 发展历程

我国 GIS 起步较晚，但发展较快，分为以下几个阶段：

（1）70 年代，准备阶段：一些知名人士 GIS 先驱看到 GIS 的广阔前景和 GIS 的重要性，进行极积呼吁，为 GIS 在我国的发展奠定了与论准备基础并做了一些可行性实验。

（2）80 年代，试验起步阶段：这期间，我国在 GIS 理论探索，规范探讨，软件开发，系统建立等方面取得了突破和进展，进行了一些典型，试验专题试验软件开发工作。

（3）90 年代，我国 GIS 发展阶段：我国改革开放以来，沿海，治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，这也推动 GIS 在我国的全面发展。

（4）96 年以来，是我国 GIS 产业化阶段：近几年来，我国经济信息化的基础设施和重大信息工程已纳入国家计划，一批国家级和地方级的 GIS 相继建立并投入运行，一批专业遥感基地已建立，并进入了产业化运行，一批综合运用“3S”技术的重点项目已实施，并在自然灾害监测和图土资源调查中发挥效益，一批高等院校开设了与 GIS 相关的新专业，培养了一大批从事 GIS 研究与开发的高层次人

原创地信论坛：http://bbs.3s001.com/

地信网论坛 BBS.3S001.COM

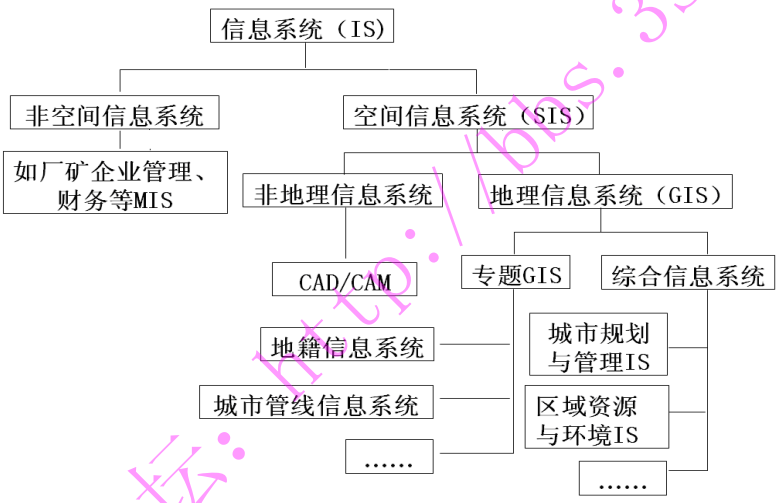
才，具有我国自主版权的 GIS 基础软件的研制逐步进入了产业化轨道，等等这些都标志我国 GIS 产业已进入新的发展阶段。

4 GIS 的发展趋势

- 向非 GIS 用户发送空间数据
- 方便地在你更大的信息系统中集成空间信息
- 维护准确的、无缝连接的实时数据
- 提供快速的数据接入
- GIS 走向网络化
- GIS、GPS、RS 一体化
- GIS 工程化
- OpenGIS——其目标是多源数据的集成与分析无需转换，GIS 应用能与任何 GIS 数据格式进行连接和相互集成。

5 GIS 与一般 IS、CAD、CAM 的联系与区别

5.1 GIS 与其它 IS 之间的关系（信息系统的分类）



5.2 GIS 与一般 MIS：

GIS 离不开数据库技术。数据库中的一些基本技术，如数据模型、数据存储、数据检索等都是 GIS 广泛使用的核心技术。

GIS 对空间数据和属性数据共同管理、分析和应用，而一般 MIS（数据库系统）侧重于非图形数据（属性数据）的优化存储与查询，即使存储了图形，也是以文件的形式存储，不能对空间数据进行查询、检索，分析，没有拓扑关系，其图形显示功能也很有限。

5.3 GIS 与 CAD：

GIS与CAD共同点	GIS与CAD 不同点	
都有空间坐标系统； 都能将目标和参考系联系起来； 都能描述图形数据的拓扑关系； 都能处理属性和空间数据	CAD研究对象为人造对象—规则几何图形及组合； CAD图形功能特别是三维图形功能强，属性库功能相对较弱； CAD中的拓扑关系较为简单 CAD一般采用几何坐标系 。	GIS处理的数据大多来自于现实世界，较之人造对象更复杂，数据量更大；数据采集的方式多样化； GIS的属性库结构复杂，功能强大； GIS强调对空间数据的分析，图形属性交互使用频繁； GIS采用地理坐标系 。

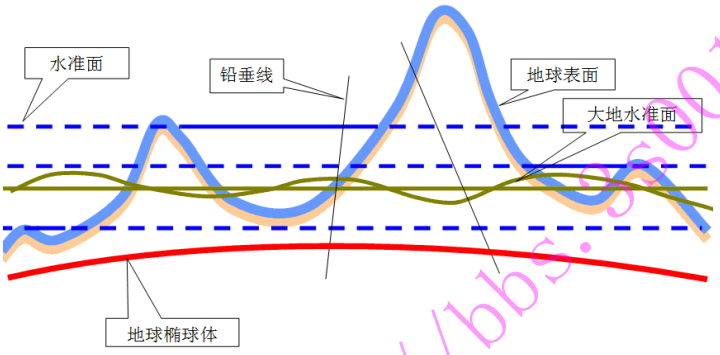
5.4 GIS 与 CAM：

地信网论坛 BBS.35001.COM

GIS与CAM共同点	GIS与CAM 不同点	
都有地图输出、空间查询、分析和检索的功能	CAM侧重于数据查询、分类及自动符号化，具有地图辅助设计和产生高质量矢量地图的输出机制； CAM强调数据显示而不是数据分析，地理数据往往缺乏拓扑关系； CAM与数据库的联系通常是一些简单的查询。	CAM是GIS的重要组成部分； GIS可以综合图形和属性数据进行深层次的空间分析，提供辅助决策信息。

第二章　地理信息系统空间特性

1 地球模型



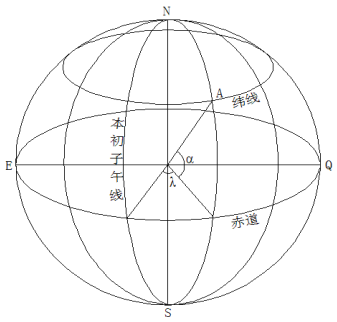
2 地理空间坐标

◆地理坐标系是以地理极(北极、南极)为极点。

◆通过 A 点作椭球面的垂线，称之为过 A 点的法线。

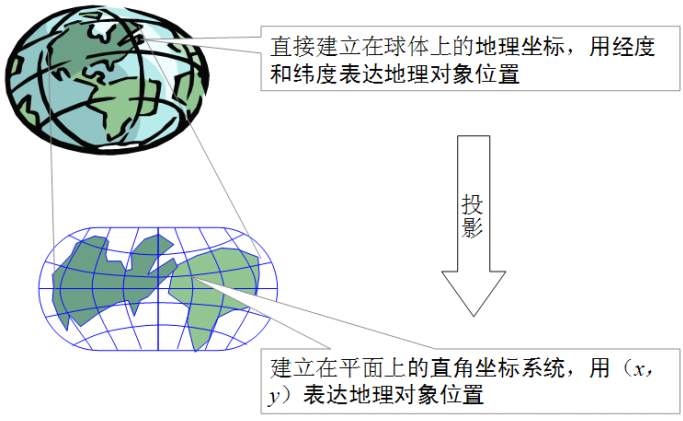
◆法线与赤道面的交角，叫做 A 点的纬度 α 。

◆过 A 点的子午面与通过英国格林尼治天文台的子午面所夹的二面角，叫做 A 点的经度 λ 。



3 坐标参考系统

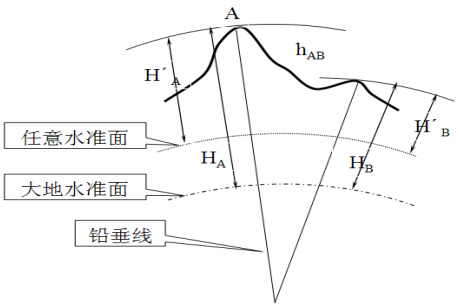
3.1 平面系统

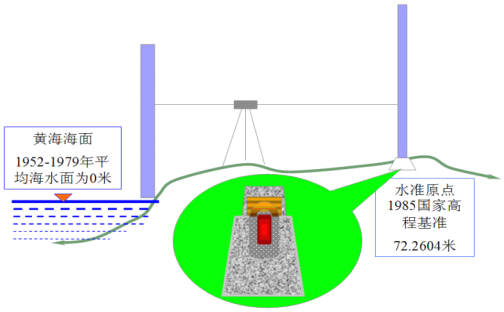


3.2 高程系统

顶级地质论坛：http://bbs.35001.com/

地信网论坛 BBS.3S001.COM





4 地图投影

4.1 为什么要进行地图投影?

◆将地球椭球面上的点映射到平面上的方法，称为地图投影。

◆地理坐标为球面坐标，不方便进行距离、方位、面积等参数的量算。

◆地球椭球体为不可展曲面。

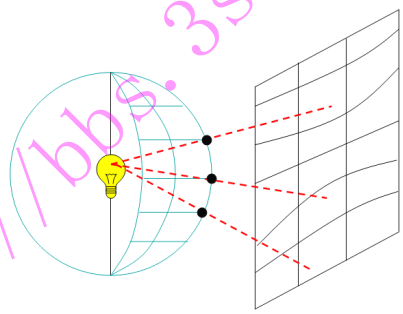
◆地图为平面，符合视觉心理，并易于进行距离、方位、面积等量算和各种空间分析。

4.2 地图投影的实质

建立地球椭球面上经纬线网和平面上相应经纬线网的数学基础，也就是建立地球椭球面上的点的地理坐标（λ，φ）与平面上对应点的平面坐标（x，y）之间的函数关系：

$$x = f_1(\lambda, \varphi)$$
$$y = f_2(\lambda, \varphi)$$

当给定不同的具体条件时，将得到不同类型的投影方式。



4.3 投影变形

将不可展的地球椭球面展开成平面，并且不能有断裂，则图形必将在某些地方被拉伸，某些地方被压缩，故投影变形是不可避免的。投影变形主要有长度变形、面积变形、角度变形。

4.4 投影分类

◆按投影变形分类：

等角投影：投影前后角度不变

等面积投影：投影前后面积不变；

任意投影：角度、面积、长度均变形

◆按投影面：

横圆柱投影：投影面为横圆柱

圆锥投影：投影面为圆锥

方位投影：投影面为平面

◆按投影面位置：

正轴投影：投影面中心轴与地轴相互重合

斜轴投影：投影面中心轴与地轴斜向相交

横轴投影：投影面中心轴与地轴相互垂直

相切投影：投影面与椭球体相切

相割投影：投影面与椭球体相割

4.5 影响地图投影选择的因素

◆制图区域的地理位置、形状和范围

◆制图比例尺

◆地图内容

◆出版方式

顶级地质论坛 http://bbs.3s001.com/

地信网论坛 BBS.3S001.COM

4.6 GIS 中地图投影

◆GIS 以地图方式显示地理信息，而地图是平面，地理信息则在地球椭球上，因此地图投影在 GIS 中不可缺少。

◆GIS 数据库中地理数据以地理坐标存储时，则以地图为数据源的空间数据必须通过投影变换转换成地理坐标；而输出或显示时，则要将地理坐标表示的空间数据通过投影变换变换成指定投影的平面坐标。

◆GIS 中，地理数据的显示可根据用户的需要而指定投影方式，但当所显示的地图与国家基本地图系列的比例尺一致时，一般采用国家基本系列地图所用的投影。

4.7.我国常用地图投影

◆1：100 万：兰勃投影（正轴等积割圆锥投影），大部分分省图、大多数同级比例尺也采用兰勃投影。

◆1：50 万、1：25 万、1：10 万、1：5 万、1：2.5 万、1:1 万、1：5000 采用高斯—克吕格投影。

5 地图比例尺

地图比例尺反映了制图区域和地图的比例关系。在纸质地图中，地图比例尺影响着地图的内容、概括程度、数据精度等；在 GIS 中，地图比例尺主要影响着数据精度。

5.1 比例尺的含义：

制图区域较小，采用各方面变形都较小的地图投影，图上各处的比例是一致的，故此时比例尺的含义是图上长度与相应地面长度的比例；

制图区域较大时，地图投影比较复杂，地图上长度因地点和方向的不同而有所变化，这种地图比例尺一般是指在地图投影时，对地球半径缩小的比率， 称为主比例尺。地图经过投影后，体现在图上只有个别点线没有长度变形，也就是说，只有在这些长度没有变形的点或线上，才可用地图上注明的比例尺

5.2 我国地图比例尺分级系统：

◆大比例尺：1：500～1：10 万

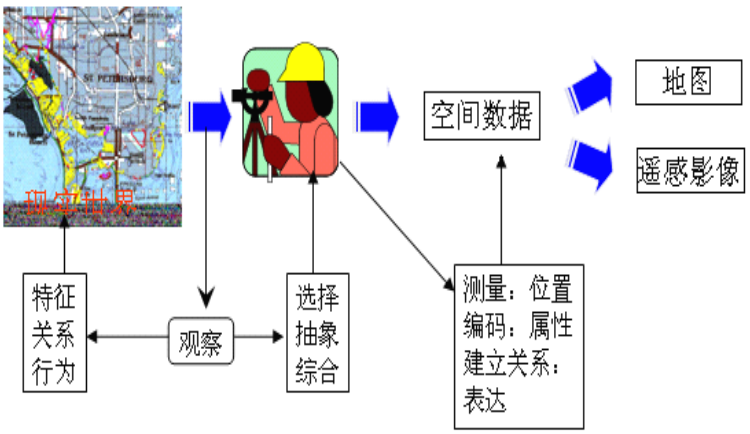
◆中比例尺：1：10 万～1：100 万

◆小比例尺：＜1：100 万

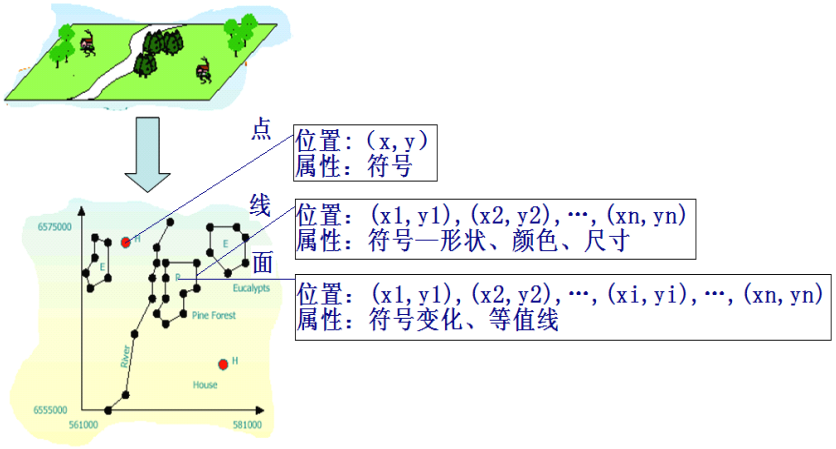
5.3 无级比例尺概念

顶级地质论坛：http://bbs.3s001.com/

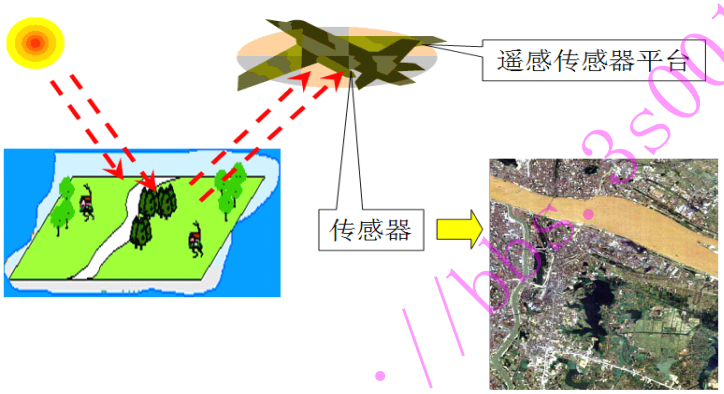
6 空间现象及其描述



6.1 空间对象（实体）的地图表达



6.2 空间对象（实体）的遥感影像表达



6.3 空间对象（实体）类型

空间对象一般按地形维数进行归类划分

点实体：零维

- ◆有位置，无宽度和长度；
- ◆抽象的点

线实体：一维

- ◆有长度，但无宽度和高度
- ◆用来描述线状实体，通常在网络分析中使用较多
- ◆度量实体距离

面实体：二维

- ◆具有长和宽的目标
- ◆通常用来表示自然或人工的封闭多边形
- ◆一般分为连续面（如地形起伏，整个曲面在空间上曲率变化连续）和不连续面（如土壤、森林、草原、土地利用等，属性变化发生在边界上，面的内部是同质的）

体实体：三维

- ◆有长、宽、高的目标
- ◆通常用来表示人工或自然的三维目标，如建筑、矿体等三维目标

时间：通常以第四维表达，但目前 GIS 还很难处理时间属性。

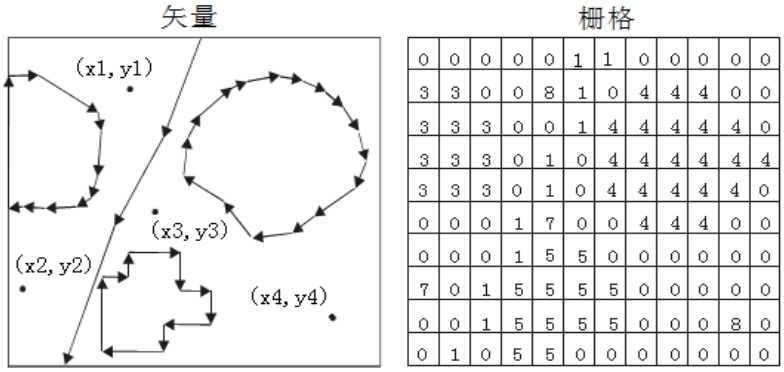
空间对象的维数与比例尺是相关的。

6.4 地理信息数字化描述方法

矢量和栅格结构是计算机描述空间实体的两种最基本的方式。

顶级地质论坛：http://bbs.3s001.com/

地信网论坛 BBS.3S001.COM



0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
3	3	0	0	8	1	0	4	4	4	0	0
3	3	3	0	0	1	4	4	4	4	4	0
3	3	3	0	1	0	4	4	4	4	4	4
3	3	3	0	1	0	4	4	4	4	4	0
0	0	0	1	7	0	0	4	4	4	0	0
0	0	0	1	5	5	0	0	0	0	0	0
7	0	1	5	5	5	5	0	0	0	0	0
0	0	1	5	5	5	5	0	0	0	8	0
0	1	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0

地图的矢量和栅格表示

6.5 空间对象的描述要素

编码：区别不同的实体，包括分类码和识别码。分类 码　表识空间对象的类别，而识别码对每个空间对象进行表识，是唯一的。

位置：坐标形式给出空间对象的空间位置

类型：空间对象所属的实体类型，或有那些实体组成

行为：空间对象所具备的行为和功能

属性：空间对象所对应的非几何信息

说明：实体数据来源、精度等

关系：与其他实体之间的关系

6.6 空间对象的空间关系表达

空间对象的空间关系表达是描述空间对象之间的空间相互作用关系。

主要方法有：

绝对关系: 坐标、角度、方位、距离等；

相对关系：相邻、包含、关联等

相对关系类型

拓扑空间关系：描述空间对象的相邻、包含等

顺序空间关系：描述空间对象在空间上的排列次序，如前后、左右、东、西、南、北等。

度量空间关系：描述空间对象之间的距离等。

地图、遥感影像上的空间关系是通过图形识别的，在 GIS 中的空间关系则必须显式的进行定义和表达。

空间关系的描述多种多样，目前尚未有具体的标准和固定的格式，但基本原理一致。不同的 GIS 可能采用不同的方法进行描述。

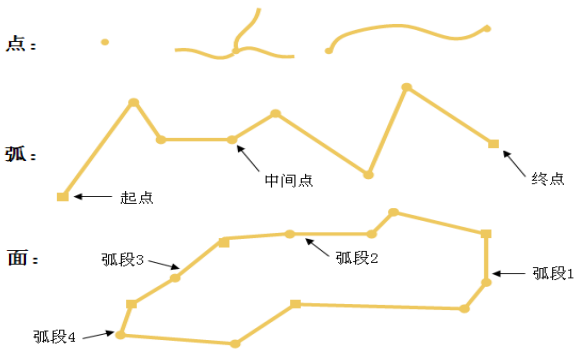
6.7 空间对象的拓扑空间关系——基于点集拓扑理论

◆拓扑元素：

点：孤立点、线的端点、面的首尾点、链的连接点

线：两结点之间的有序弧段，包括链、弧段和线段

面：若干弧段组成的多边形



◆基本拓扑关系

关联：不同拓扑元素之间的关系

邻接：相同拓扑元素之间的关系

包含：面与其他元素之间的关系

层次：相同拓扑元素之间的层次关系

拓扑元素量之间的关系：欧拉公式

顶级地信论坛 http://bbs.3s001.com/

表 6.71　点、线、面之间的拓扑关系

	邻接	相交	相离	包含	重合
点—点					
点—线					
点—面					
线—线					
线—面					
面—面					

◆空间拓扑关系表达—关系表

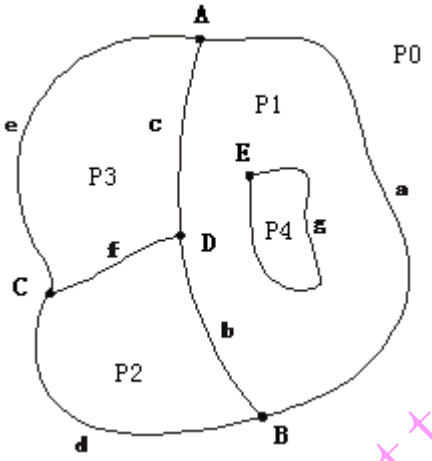


表 1 面域与弧段的拓扑关系

面 域	弧 段
P_1	a, b, c, …g
P_2	b, d, f

表 2 结点与弧段的拓扑关系

结 点	弧 段
A	a, c, e
B	a, d, b
C	d, e, f

表 3　弧段与结点的拓扑关系

弧 段	结 点
a	A , B
b	B , D
c	D , A
d	B , C
e	C , A
f	C , D
g	E , E

表 4　弧段与面域的拓扑关系

弧段	左邻面	右邻面
a	P_0	P_1
b	P_2	P_1
c	P_3	P_1
d	P_0	P_2
e	P_0	P_3
f	P_3	P_2
g	P_1	

7 地理数据

7.1 地理数据的特征

属性特征：描述空间对象的特性，即是什么，如对象的类别、等级、名称、数量等。

空间特征：描述空间对象的地理位置以及相互关系，又称几何特征和拓扑特征，前者用经纬度、坐标表示，后者如交通学院与电力学院相邻等。

时间特征：描述空间对象随时间的变化

7.2 地理数据的类型

属性数据：描述空间对象属性特征的数据，又称非几何数据，如类型、名称、性质等，一般通过代码给予表达

几何数据：描述空间对象空间特征的数据，也称位置数据、定位数据，一般用经纬度、坐标表达

地信网论坛 BBS.3S001.COM
顶级地质论坛：http://bbs.3s001.com/

地信网论坛 BBS.3S001.COM

关系数据：描述空间对象的空间关系的数据，如邻接、包含、关联等，一般通过拓扑关系表达。

8 元数据 —— “关于数据的数据”

8.1 元数据的内容

◆对数据集中各数据项、数据来源、数据所有者及数据生产历史等的说明

◆对数据质量的描述，如数据精度、数据的逻辑一致性、数据完整性、分辨率、源数据的比例尺等

◆对数据处理信息的说明，如量纲的转换等

◆数据转换方法的描述

◆对数据库的更新、集成方法等的说明

8.2 元数据的主要作用

◆帮助数据生产单位有效地管理和维护空间数据，建立数据文档

◆提供有关数据生产单位数据存储、数据分类、数据内容、数据质量、数据交换网络(clearing house)及数据销售等方面的信息，便于用户查询检索地理空间数据

◆提供通过网络对数据进行查询检索的方法或途径，以及与数据交换和传输有关的辅助信息

◆帮助用户了解数据，以便就数据是否能满足其需求作出正确的判断

◆提供有关信息，以便用户处理和转换有用的数据。

8.3 空间数据元数据的标准

空间数据元数据的标准表

元数据标准名称	建立标准的组织
CSDGM 地球空间数据元数据内容标准	FGDC，美国联邦空间数据委员会
GDDD 数据集描述方法	MEGRIN，欧洲地图事务组织
CGSB 空间数据集描述	CSC，加拿大标准委员会
CEN 地学信息一数据描述一元数据	CEN / TC287
DIF 目录交换格式	NASA
ISO 地理信息	ISO / TC211

http://bbs.3s001.com/

第三章　空间数据结构

1 空间数据结构

空间数据结构是指空间数据在计算机内的组织和编码形式。它是一种适合于计算存储、管理和处理空间数据的逻辑结构，是地理实体的空间排列和相互关系的抽象描述，是对数据的一种理解和解释。

空间数据编码是空间数据结构在计算机中的实现，由于地理信息系统数据量极大，常要采用压缩数据编码的方式以节省空间和加速数据的处理、显示。

2 栅格数据结构

2.1 图形表示

栅格结构实际上就是像元阵列，每个像元由行列号确定它的位置，且具有表示实体属性的类型或值的编码值。用密集正方形（或三角形，多边形）将地理区域划分为网格阵列。位置由行，列号定义，属性为栅格单元的值。

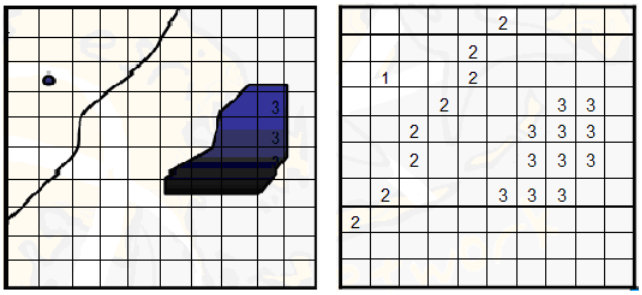
点：由单个栅格表达。

线：由沿线走向有相同属性取值的一组相邻栅格表达。

面：由沿线走向有相同属性取值的一片栅格表达。

栅格数据表示的是二维表面上的地理数据的离散化数值。在栅格数据中，地表被分割为相互邻接、

规则排列的地块，每个地块与一个象元相对应。因此，栅格数据的比例尺就是栅格(象元)的大小与地表相应单元的大小之比，当象元所表示的面积较大时，对长度、面积等的量测有较大影响。每个象元的属性是地表相应区域内地理数据的近似值，因而有可能产生属性方面的偏差。



2.2 栅格单元的尺寸

2.2.1 原则：

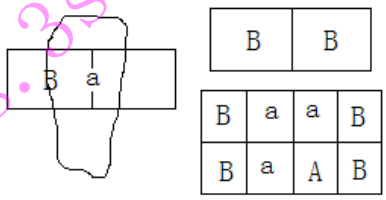
应能有效地逼近空间对象的分布特征，又减少数据的冗余度。格网太大，忽略较小图斑，信息丢失。一般讲实体特征愈复杂，栅格尺寸越小，分辨率愈高，然而栅格数据量愈大（按分辨率的平方指数增加）计算机成本就越高，处理速度越慢。

2.2.2 方法：

用保证最小多边形的精度标准来确定尺寸经验公式：

$$h = 1/2(\min\{A_i\})^{1/2}$$

其中，h为栅格单元边长；A_i为区域所有多边形的面积。



2.2.3 栅格代码（属性值）的确定

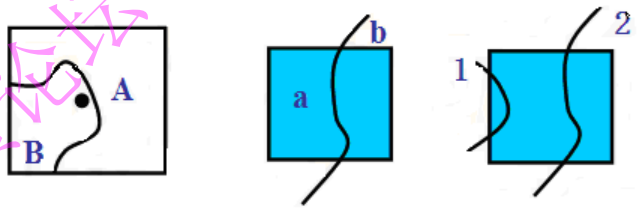
当一个栅格单元内有多个可选属性值时，按一定方法来确定栅格属性值。主要方法有

①中心点法：取位于栅格中心的属性值为该栅格的属性值。

②面积占优法：栅格单元属性值为面积最大者，常用于分类较细，地理类别图斑较小时。

③重要性法：定义属性类型的重要级别，取重要的属性值为栅格属性值，常用于有重要意义而面积较小的要素，特别是点、线地理要素。

④长度占优法——每个栅格单元的值由该栅格中线段最长的实体的属性来确定。



2.3 栅格数据编码方法

2.3.1 直接栅格编码：

将栅格数据看作一个数据矩阵，逐行记录代码数据。

1）每行都从左到右记录； AAAA，BBBA，AABB，BBAA

2）奇数行从左到右，偶数行从右到左；

特点：最直观、最基本的网格存贮结构，没有进行任何压缩数据处理。

A	A	A	A
A	B	B	B
A	A	B	B
A	A	B	B

栅格数据量大，格网数多，由于地理数据往往有较强的相关性，即相邻象元的值往往是相同的。所以，出现了各种栅格数据压缩方法。

数据压缩是将数据表示成更紧凑的格式以减少存储空间的一项技术。分为：

无损压缩：在编码过程中信息没有丢失，经过解码可恢复原有的信息---信息 保持编码。

有损压缩：为最大限度压缩数据，在编码中损失一些认为不太重要的信息，解码后，这部分信息

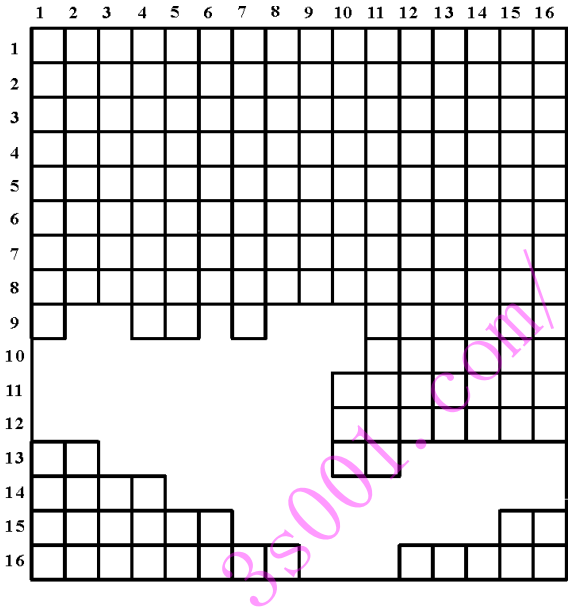
顶级地质论坛：http://bbs.3s001.com/

地信网论坛 BBS.35001.COM

无法恢复。--信息不保持编码。

2.3.2 游程长度编码：

按行的顺序存储多边形内的各个像元的列号，即在某行上从左至右存储属该多边形的始末像元的列号。将原图表示的数据矩阵变为数据对：



9行：(3, 3)，(4, 5)；

10行：(3, 4)，(4, 4)；

11行：(1, 1), (3, 3), (4, 3)，(2, 1)；

12行：(1, 2)，(3, 3)，(2, 3)；

13行：(1, 4)，(3, 1)，(2, 3)；

14行：(14)，(2, 4)；

15行：(1，5)，(2，3)；

16行：(1, 5)，(2, 3)。

在这个例子中，69个像元的多边形只用22个编码值就完整地表示出来了，因而大大减少了存储量。

特点：

对于游程长度编码，区域越大，数据的相关性越强，则压缩越大，适用于类型区域面积较大的专题图，而不适合于类型连续变化或类别区域分散的分类图（压缩比与图的复杂程度成反比）。

这种编码在栅格加密时，数据量不会明显增加，压缩率高，并最大限度地保留原始栅格结构，编码解码运算简单，且易于检索，叠加，合并等操作，这种编码应用广泛。

2.3.3 块码 —— 游程编码向二维扩展

采用方形区域作为记录单元，每个记录单元包括相邻的若干栅格。

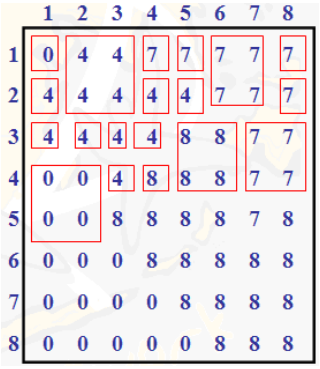
数据对组成：（初始行、列，半径，属性值）

如：

(1, 1, 1, 0), (1, 2, 2, 4), (1, 4, 1, 7), (1, 5, 1, 7)

…

依次扫描，编过的不重复。



	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	4	4	7	7	7	7	7
2	4	4	4	4	4	7	7	7
3	4	4	4	4	8	8	7	7
4	0	0	4	8	8	8	7	7
5	0	0	8	8	8	8	7	8
6	0	0	0	8	8	8	8	8
7	0	0	0	0	8	8	8	8
8	0	0	0	0	0	8	8	8

特点：

具有可变分辨率，即当属性变化小时图块大，对于大块图斑记录单元大，分辨率低，压缩比高。

小块图斑记录单元小，分辨率高，压缩比低。所以，与行程编码类似，随图形复杂程度的提高而降低分辨率。

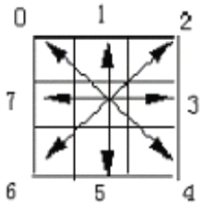
2.3.4 链式编码、Freeman 链码、边界链码

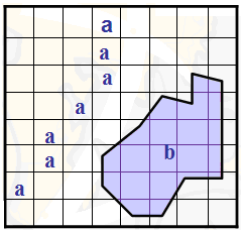
将栅格数据（线状地物面域边界）表示为矢量链的记录。

1）首先定义一个 3x3 窗口，中间栅格的走向有 8 种可能，并将这 8 种可能 0~7 进行编码。

2）记下地物属性码和起点行、列后，进行追踪，得到矢量链.

顶级地质论坛：http://bbs.35001.com/





链式编码表

属性码	起点行	起点列	链码
a	1	4	556656
b	3	7	576654323...

2.3.5 四叉树编码

四叉树编码一种可变分率的非均匀网格系统，是最有效的栅格数据压缩编码方法之一。

（1）基本思想：

将 2n×2n 象元组成的图像(不足的用背景补上) 按四个象限进行递归分割，并判断属性是否单一，单一：不分；不单一：递归分割。最后得到一颗四分叉的倒向树。

（2）四叉树的树形表示：

用一倒立树表示这种分割和分割结果。

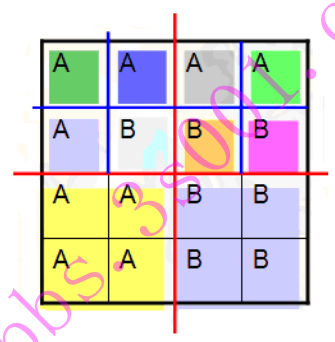
根：整个区域

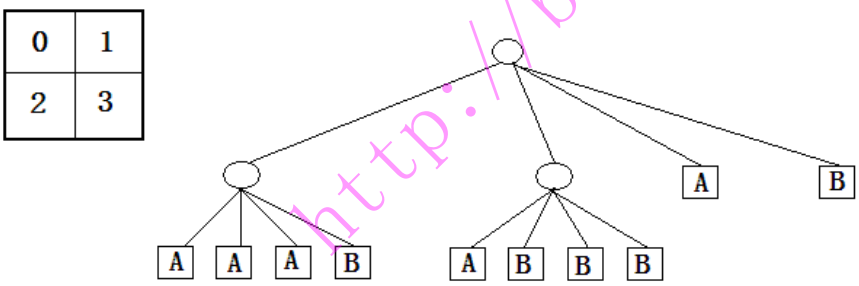
高：深度、分几级，几次分割

叶：不能再分割的块

树叉：还需分割的块

每个树叉均有 4 个分叉，叫四叉树。





（3）编码方法

①常规四叉树

记录这棵树的叶结点外，中间结点，结点之间的联系用指针联系，每个结点需要 6 个变量：父结点指针、四个子结点的指针和本结点的属性值。

指针不仅增加了数据的存储量，还增加了操作的复杂性：如层次数（分割次数）由从父结点移到根结点的次数来确定，结点所代表的图像块的位置需要从根节点开始逐步推算下来。所以，常规四叉树并不广泛用于存储数据，其价值在于建立索引文件，进行数据检索。

②线性四叉树

记录叶结点的位置，深度（几次分割）和属性。地址码（定位码、Morton 码） 四进制、十进制

优点：

1）存贮量小，只对叶结点编码，节省了大量中间结点的存储，地址码隐含着结点的分割路径和分割次数。

2）线性四叉树可直接寻址，通过其坐标值直接计算其 Morton 码，而不用建立四叉树。

3）定位码容易存储和执行实现集合相加等组合操作。

（4）四叉树优缺点

1）对于团块图像，四叉树表示法占用空间比网络法要少得多，四叉树表示法基本上是一种非冗余表示法。

2）四叉树具有可变率或多重分辨率的特点使得它有很好的应用前景，适用于处理凝聚性或呈块状分布的空间数据，特别适用于处理分布不均匀的块状空间数据，但不适用于连续表面（如地形）或线

顶级地信论坛：http://bbs.3s001.com/

状地物。

（5）此外，目前应用四叉树还存下列问题：

1) 矢/栅正反变换还不理想；

2) 建立四叉树耗费机时很多；

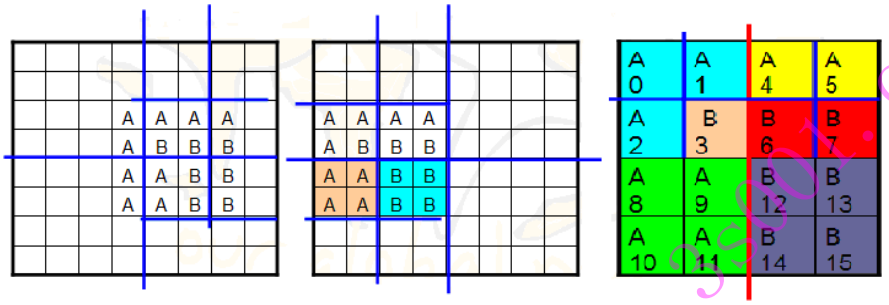
3) 四叉树虽可修改，但很费事（具体的数据结构中会提到）；

4) 四叉树未能直接表示物体间的拓扑关系；

5) 与非树表示法比较，四叉树表示法的缺点在于转换的不稳定性或叫滑动变异；

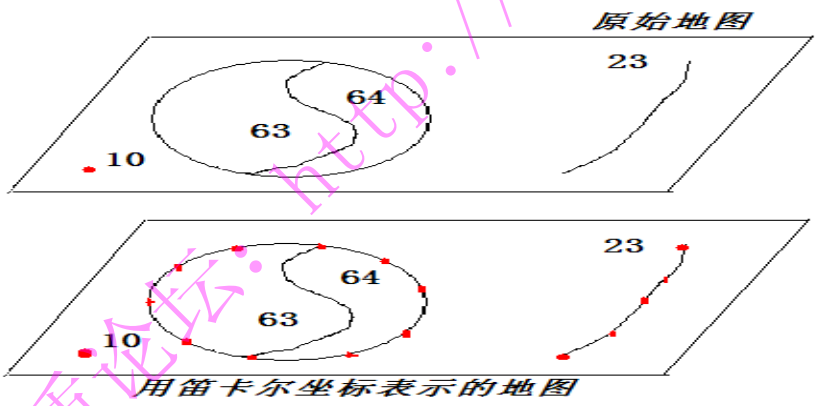
例如，两个图像的差异仅由于平移，就会构成极为不同的四叉树，因而很难根据四叉树来判断这两个图像是否全同，故不利于做形状分析和模式识别。

6) 一个物体的图像在构成四叉树时会被分割到若干个象限中，使它失去了内在的相关性。



3 矢量结构

3.1 图形表示



特性	数据	位 置
点	10	X, Y 单点
线	23	X_1 Y_1, X_2 Y_2, … … , Xn Yn 串
面	64	X_1 Y_1, X_2 Y_2, … … , Xn Yn 闭合环
	63	X_1 Y_1, X_2 Y_2, … … , Xn Yn 闭合环

3.2 矢量数据的获取方式

（1）由外业测量获得：可利用测量仪器自动记录测量成果(常称为电子手薄)，然后转到地理数据库中。

（2）由栅格数据转换获得：利用栅格数据矢量化技术，把栅格数据转换为矢量数据。

（3）跟踪数字化：用跟踪数字化的方法，把地图变成离散的矢量数据。

3.3 矢量数据组织

矢量数据表示时应考虑以下问题：

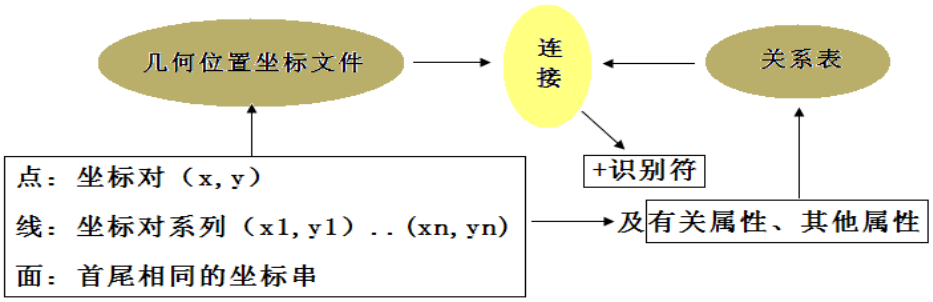
（1）矢量数据自身的存贮和处理；

（2）与属性数据的联系；

（3）矢量数据之间的空间关系(拓扑关系)。

顶级地质论坛：http://bbs.35001.com/

地信网论坛 BBS.35001.COM



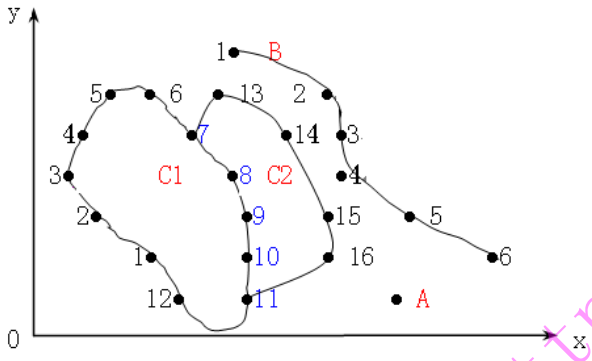
以点为例：坐标识别符

（1）有关属性：{若是简单点要素如独立树、电线杆、三角点，记录符号、比例尺、方向；
若是注记点，记录有关字符的大小、方向、字体、排列等；
若是节点Vertex，记录符号、指针、与线相交的角度。}

（2）其它属性：三角点设立年代、材料等

3.4 矢量数据编码方式

3.4.1 实体式（spaghetti）-- 面条模型:以实体为单位记录其坐标



	特征值	位置坐标
点	A	x, y
线	B	$x_1,y_1;x_2,y_2;x_3,y_3;x_4,y_4;x_5,y_5;x_6,y_6$
面	C1	$x_1,y_1;x_2,y_2;x_3,y_3;x_4,y_4;x_5,y_5;x_6,y_6;x_7,y_7;$ $x_8,y_8;x_9,y_9;x_{10},y_{10};x_{11},y_{11};x_{12},y_{12};x_1,y_1$
	C2	$x_7,y_7;\ x_8,y_8;\ x_9,y_9;\ x_{10},y_{10};\ x_{11},y_{11},$ $x_{16},y_{16};\ x_{15},y_{15};x_{14},y_{14};x_{13},y_{13};x_7,y_7;$

点：一组（x, y)坐标

线：对于线则是用一组有序的 x，y 坐标对表示

多边形：则是用一组有序的但首尾坐标相同的坐标对表示

优点：结构简单、直观、易实现以实体为单位的运算和显示。

缺点：①相邻多边形的公共边界被数字化并存储两次，造成数据冗余和碎屑多边形—数据不一致，浪费空间，导致双重边界不能精确匹配。

②自成体系，缺少多边形的邻接信息，无拓扑关系，难以进行邻域处理，如消除多边形公共边界，合并多边形。

③岛作为一个单个图形，没有与外界多边形联系。不易检查拓扑错误。

所以，这种结构只用于简单的制图系统中，显示图形。

3.4.2 索引式（树状）

对所有点的坐标按顺序建坐标文件，再建点与边（线）、线与多边形的索引文件。

索引文件：

1、点文件：

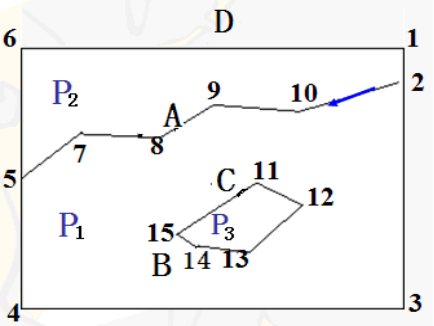
点号	坐标
1	x1,y1

2、弧段文件：

弧段号	起点	终点	点号
A	5	2	7,8,9,10

3、面文件：

面号	弧段号
P1	A,B,C



测绘地质论坛：http://bbs.35001.com/

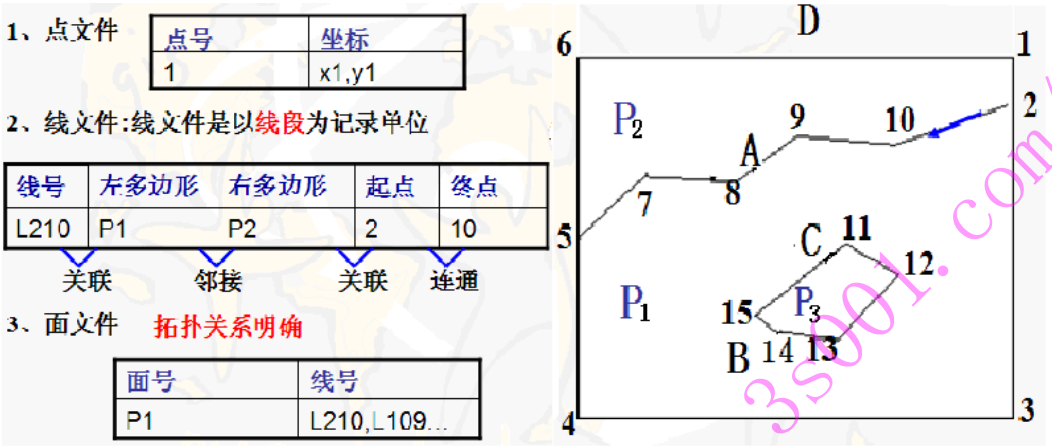
地信网论坛 BBS.3S001.COM

与实体式相比，优点：用建索引的方法消除多边形数据的冗余和不一致，邻接信息、岛信息可在多边形文件中通过是否公共弧段号的方式查询。

缺点：表达拓扑关系较繁琐，给相邻运算、消除无用边、处理岛信息、检索拓扑关系等带来困难，以人工方式建立编码表，工作量大，易出错。

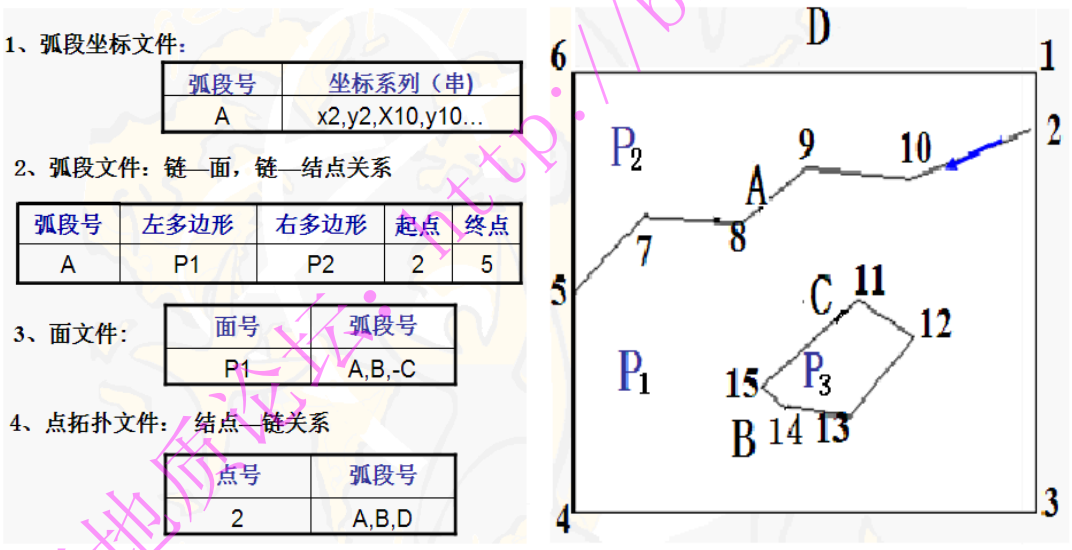
3.4.3 双重独立式编码

简称 DIME(Dual Independent Map Encoding)，是美国人口统计系统采用的一种编码方式，是一种拓扑编码结构。



在 DIME 中做如下改进：将以线段为记录单位改为以弧段为单位→链状双重独立式编码

3.4.4 链状双重独立式编码--拓扑数据结构



在拓扑结构中，多边形（面）的边界被分割成一系列的线（弧、链、边）和点（结点）等拓扑要素，点、线、面之间的拓扑关系在属性表中定义，多边形边界不重复。

特点：

拓扑关系明确，也能表达岛信息，而且以弧段为记录单位，满足实际应用需要。因为一般数字化一条街道时，必然有许多中间点，但我们在做空间分析是却没有必要以这些中间点所组成的折线为研究对象，而应以整条弧段（某条街道）为研究对象.

被一些成熟的商品化软件采用，如 ARC/INFO 软件。例：ARC 文件——二进制文件：

弧段号	点数	坐标串

在 GIS 数据输入中，建拓扑是指给图形数据（点、线、面）增加拓扑结构，如 ARC/INFO 中，在 ARCEDIT 中输入图形后，需用 BUILD 建图形拓扑，具体生成许多文件，如 AAT，PAT 等.

INFO：属性表，如 AAT（Arc Attribute Table）：

高级地质论坛 http://bbs.3s001.com/

地信网论坛 BBS.3S001.COM

弧段号	USER_ID	LPOLY	RPOLY	FROM_NODE	TO_NODE	其它属性:（名称）

用户标识码，表明地物类型。当图形数据修改、删除、增加点、线、面要素后，其拓扑关系也发生改变，所以，需重新建拓扑。

4 矢栅一体化数据结构

4.1 矢量—栅格的优缺点

	优点	缺点
矢量	1 便于面向现象（土壤类，土地利用单元等） 2 结构紧凑，冗余度低，便于描述线或边界。 3 利于网络、检索分析，提供有效的拓扑编码，对需要拓扑信息的操作更有效。 4 图形显示质量好，精度高。	1 数据结构复杂，各自定义，不便于数据标准化和规范化，数据交换困难。 2 多边形叠置分析困难，没有栅格有效，表达空间变化性能力差。 3 不能像数字图像那样做增强处理 4 软硬件技术要求高，显示与绘图成本较高。
栅格	1 结构简单，易数据交换。 2 叠置分析和地理（能有效表达空可变性）现象模拟较易。 3 利于与感遥数据的匹配应用和分析，便于图像处理。 4 输出快速，成本低廉。	1 现象识别效果不如矢量方法，难以表达拓扑。 2 图形数据量大，数据结构不严密不紧凑，需用压缩技术解决该问题。 3 投影转换困难。 4 图形质量转低，图形输出不美观，线条有锯齿，需用增加栅格数量来克服，但会增加数据文件。

4.2 矢量与栅格数据结构的选择

在 GIS 建立过程中，应根据应用目的和应用特点、可能获得的数据精度以及地理信息系统软件和硬件配置情况，选择合适的数据结构。矢量结构更有利于网络分析（交通网，供、排水网，煤气管道，电缆等）和制图应用。栅格数据结构是一种影像数据结构，适用于遥感图像的处理。

一般来说,大范围小比例的自然资源、环境、农业、林业、地质等区域问题的研究,城市总体规划阶段的战略性布局研究等,使用栅格模型比较合适。城市分区或详细规划、土地管理、公用事业管理等方面的应用，矢量模型比较合适。

4.3 栅格数据结构和矢量数据结构的相互转换

矢量结构与栅格结构的相互转换，是地理信息系统的基本功能之一，目前已经发展了许多高效的转换算法；但是，从栅格数据到矢量数据的转换，特别是扫描图像的自动识别，仍然是目前研究的重点。

对于点状实体，每个实体仅由一个坐标对表示，其矢量结构和栅格结构的相互转换基本上只是坐标精度变换问题，不存在太大的技术问题。

线实体的矢量结构由一系列坐标对表示，在变为栅格结构时，除把序列中坐标对变为栅格行列坐标外，还需根据栅格精度要求，在坐标点之间插满一系列栅格点，这也容易由两点式直线方程得到。线实体由栅格结构变为矢量结构与将多边形边界表示为矢量结构相似，因此以下重点讨论多边形（面实体）的矢量结构与栅格结构相互转换。

4.3.1 矢量格式向栅格转换（多边形填充）

（1）内部点扩散算法

地信网论坛 BBS.3S001.COM

该算法由每个多边形一个内部点（种子点）开始，向其八个方向的邻点扩散，判断各个新加入点是否在多边形边界上，如果是边界上，则该新加入点不作为种子点，否则把非边界点的邻点作为新的种子点与原有种子点一起进行新的扩散运算，并将该种子点赋以该多边形的编号。重复上述过程直到所有种子点填满该多边形并遇到边界停止为止。

扩散算法程序设计比较复杂，并且在一定的栅格精度上，如果复杂图形的同一多边形的两条边界落在同一个或相邻的两个栅格内，会造成多边形不连通，这样一个种子点不能完成整个多边形的填充。

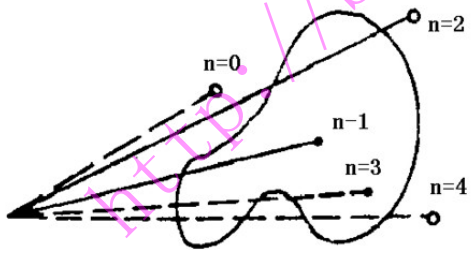
9	9	9	9	0	0	0	0
9	9	9	0	0	0	0	0
0	9	9	0	7	7	0	0
0	0	0	0	7	7	0	0
0	0	0	0	7	7	7	7
0	0	0	0	7	7	7	7
0	0	0	0	7	7	7	7
0	0	0	0	7	7	7	7

（2）复数积分算法

对全部栅格阵列逐个栅格单元地判断该栅格归属的多边形编码，判别方法是由待判点对每个多边形的封闭边界计算复数积分，对某个多边形，如果积分值为 2r，则该待判点属于此多边形，赋以多边形编号，否则在此多边形外部，不属于该多边形。

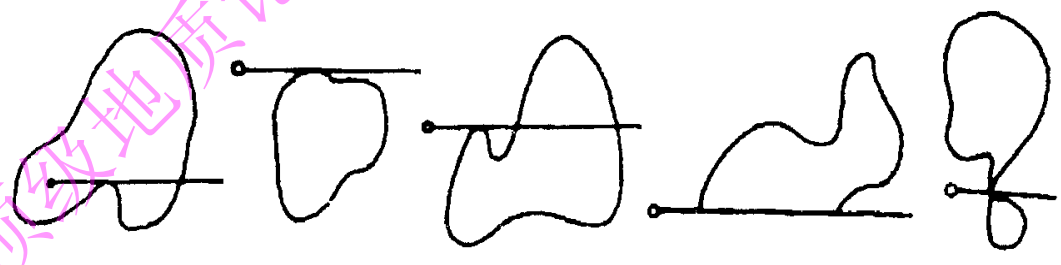
（3）射线算法

射线算法可逐点判断数据栅格点在某多边形之外或在多边形内，由待判点向图外某点引射线，判断该射线与某多边形所有边界相交的总次数，如相交偶数次，则待判点在该多边形外部，如为奇数次，则待判点在该多边形内部。



○外部点 ·内部点 n交点个数

采用射线算法，要注意的是：射线与多边形边界相交时，有一些特殊情况会影响交点的个数，必须予以排除。



（4）扫描算法

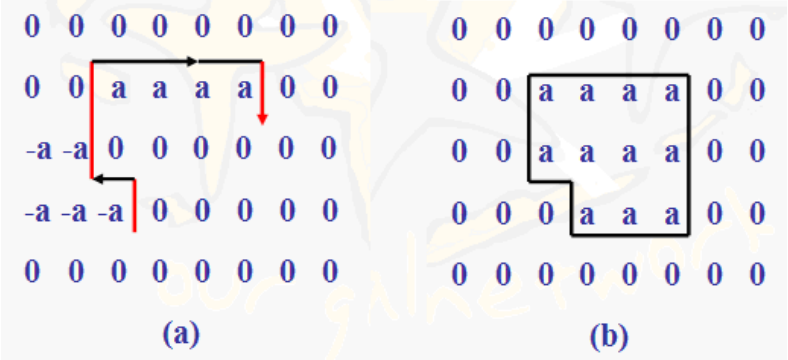
扫描算法是射线算法的改进，将射线改为沿栅格阵列列或行方向扫描线，判断与射线算法相似。扫描算法省去了计算射线与多边形边界交点的大量运算，大大提高了效率。

（5）边界代数算法

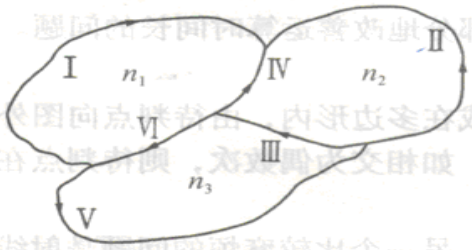
边界代数算法是一种基于积分思想的矢量格式向栅格格式转换算法，它适合于记录拓扑关系的多边形矢量数据转换为栅格结构。下图表示转换单个多边形的情况，多边形编号为 a，初始化的栅格阵列各栅格值为零，以栅格行列为参考坐标轴，由多边形边界上某点开始顺时针搜索边界线，当边界上行时（图 a），位于该边界左侧的具有相同行坐标的所有栅格被减去 a；当边界下行时（图 b），该边界左边（前进方向看为右侧）所有栅格点加一个值 a，边界搜索完毕则完成了多边形的转换。

顶级地质论坛 http://bbs.3s001.com/

地信网论坛 BBS.3S001.COM



对多边形 n_1：线Ⅰ上行 $-n_1$，下行 $+n_1$；线Ⅳ上行 $+n_1$，线Ⅵ下行 $+n_1$。
对多边形 n_2：线Ⅱ上行 $-n_2$，下行 $+n_2$；线Ⅳ上行 $-n_2$，线Ⅲ上行 $-n_2$。
对多边形 n_3：线Ⅵ上行 $+n_3$，线Ⅲ下行 $-n_3$；线Ⅴ下行 $-n_3$，上行 $+n_3$。



多个多边形示意图

线号与左右多边形号的对应关系

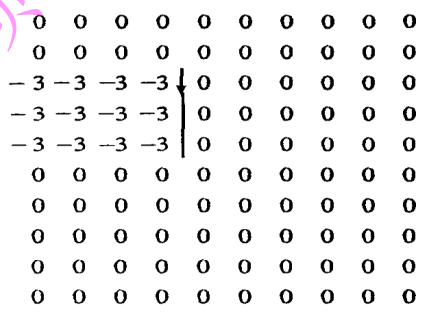
线　号	左多边形	右多边形
Ⅰ	0	n_1
Ⅱ	n_2	0
Ⅲ	n_3	n_2
Ⅳ	n_1	n_2
Ⅴ	n_3	0
Ⅵ	n_3	n_1

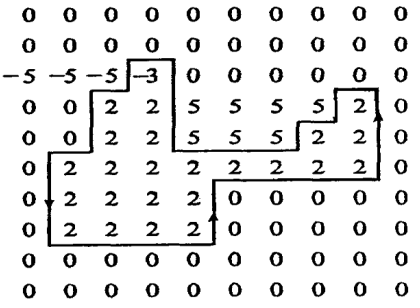
对所有运算按线号进行排列，巴图外区域作为编号为零的区域参加计算，下面括号内标出的为相应线的左或右多边形。

线Ⅰ　上行：$+0$（左）　$-n_1$（右）
　　下行：　0（左）　$+n_1$（右）
线Ⅱ　上行：$+n_2$（左）　-0（右）
　　下行：　$-n_2$（左）　$+0$（右）
线Ⅲ　上行：$+n_3$（左）　$-n_2$（右）
线Ⅳ　上行：$+n_1$（左）　$-n_2$（右）
线Ⅴ　上行：$+n_3$（左）　-0（右）
　　下行：　n_3（左）　$+0$（右）
线Ⅵ　下行：$-n_3$（左）　$+n_1$（右）

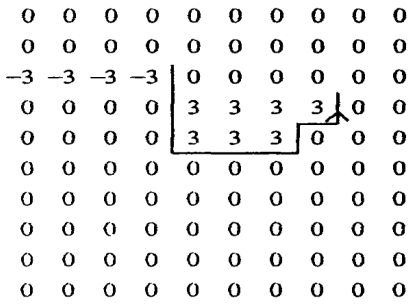
线号与左右多边形号的对应关系表

线　号	左多边形	右多边形
Ⅰ	0	n_1
Ⅱ	n_2	0
Ⅲ	n_3	n_2
Ⅳ	n_1	n_2
Ⅴ	n_3	0
Ⅵ	n_3	n_1

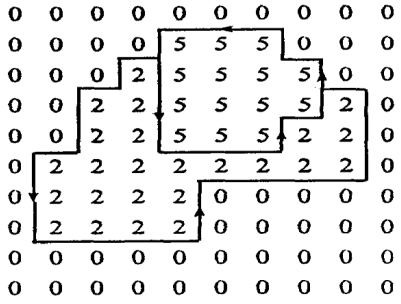

(1)


(4)

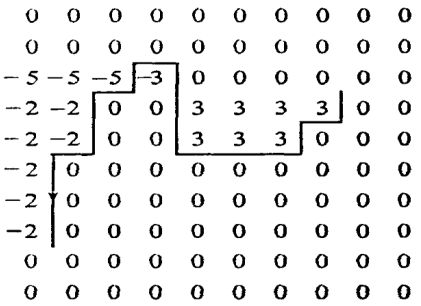
顶级地质论坛 http://bbs.3s001.com/



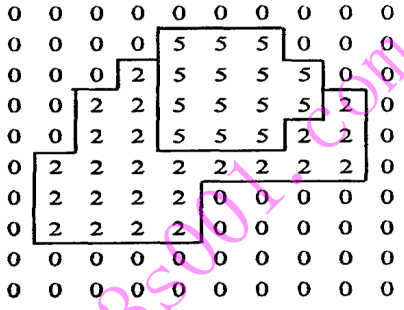
(2)



(5)



(3)



(6)

事实上，每幅地图都是由多个多边形区域组成的。如果把不属于任何多边形的区域（包括无穷远点）看成一个编号零的特殊区域，则每一条边界弧段都与两个不同编号的多边形相邻，按边界弧段的前进方向分别称为左、右多边形。

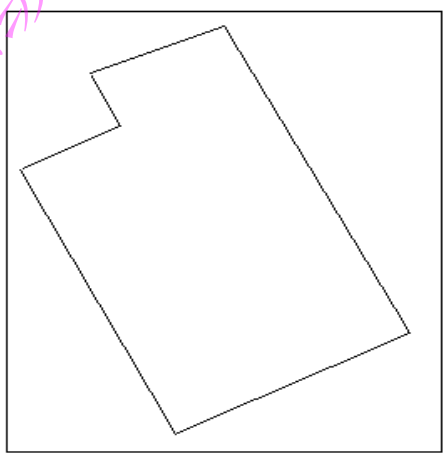
可以证明，对于这种多个多边形的矢量向栅格转换问题，只需对所有多边形边界弧段作如下运算而不考虑排列次序：当边界弧段上行时，该弧段与左图框之间栅格增加一个值（左多边形编号减去右多边形编号）；当边界弧段下行时，该弧段与左图框之间栅格增加一个值（右多边形编号减去左多边形编号）。

4.3.2 栅格数据结构向矢量数据结构的转换

栅格向矢量转换处理的目的，是为了将栅格数据分析的结果，通过矢量绘图装置输出，或者为了数据压缩的需要，将大量的面状栅格数据转换为由少量数据表示的多边形边界，但是主要目的是为了能将自动扫描仪获取的栅格数据加入矢量形式的数据库。转换处理时，基于图象数据文件和再生栅格数据文件的不同，分别采用不同的算法。

(1) 基于图像数据的矢量化方法

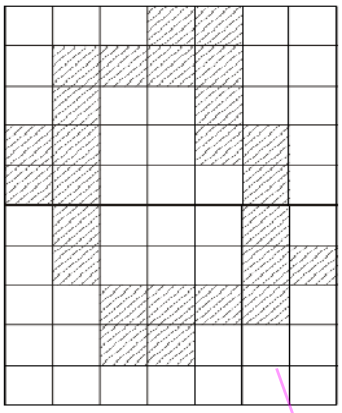
图像数据是由不同灰阶的影像或线划，通过自动扫描仪(scanner)，按一定的分辨率进行扫描采样，得到以不同灰度值(0—255)表示的数据。目前扫描仪的分辨率可达 0．0125mm，因此对一般粗度(例如 0.1mm)的线条，其横断面扫描后平均也有 8 个像元，而矢量化的要求只能允许横断面保持一个栅格的宽度，因此需要进行从栅格向矢量数据的转换。



5	2	2	124	192	5	1
9	245	212	110	350	12	9
10	156	5	7	110	135	4
141	73	6	6	135	201	8
138	144	8	5	6	166	21
9	178	29	4	4	127	12
5	132	11	7	7	256	211
3	23	214	133	244	155	43
1	7	167	122	12	9	5
0	3	5	5	2	1	0

地信网论坛 BBS.35001.COM
顶级地质论坛：http://bbs.35001.com/

地信网论坛 BBS.3S001.COM



1）二值化　线划图形扫描后产生栅格数据，这些数据是按从 0—255 的不同灰度值量度的，设以 G(i，j)表示，为了将这种 256 或 128 级不同的灰阶压缩到 2 个灰阶，即 0 和 1 两级，首先要在最大与最小灰阶之间定义一个阈值，设阈值为 T，则如果 G(i，j)大于等于 T，则记此栅格的值为 1，如果 G(i，j)小于 T，则记此栅格的值为 0，得到一幅二值图。

2）细化　细化是消除线划横断面栅格数的差异，使得每一条线只保留代表其轴线或周围轮廓线(对面状符号而言)位置的单个栅格的宽度。“剥皮法”和“骨架化”两大类 。

根据给定的阈值二值化后得到的栅格数据:

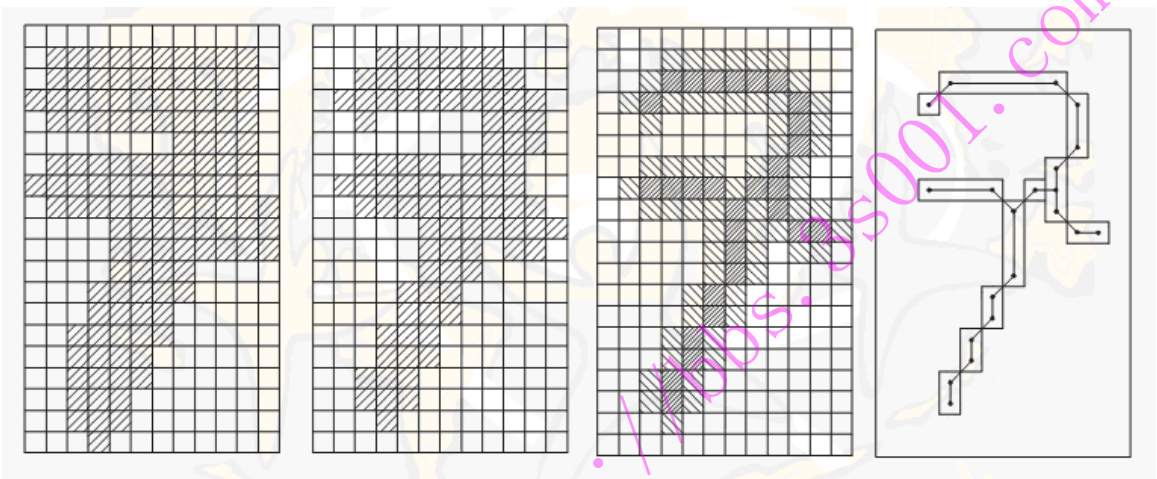


图 栅格-矢量转换过程

3）跟踪　跟踪的目的是将写入数据文件的细化处理后的栅格数据，整理为从结点出发的线段或闭合的线条，并以矢量形式存储于特征栅格点中心的坐标(图 3—23(d))。跟踪时，从图幅西北角开始，按顺时针或逆时针方向，从起始点开始，根据八个邻域进行搜索，依次跟踪相邻点。并记录结点坐标，然后搜索闭曲线，直到完成全部栅格数据的矢量化，写入矢量数据库。

（2）基于再生栅格数据的矢量化方法

1）边界线追踪：对每个边界弧段由一个节点向另一个节点搜索，通常对每个已知边界点需沿除进入方向的其它 7 个方向搜索下一个边界点，直到连成边界弧段。

2）拓扑关系生成：对于矢量表示的边界弧段，判断其与原图上各多边形的空间关系，形成完整的拓扑结构，并建立与属性数据的联系。

3）去除多余点及曲线圆滑：由于搜索是逐个栅格进行的，必须去除由此造成的多余点记录以减少冗余。搜索结果曲线由于栅格精度的限制可能不够圆滑，需要采用一定的插补算法进行光滑处理。常用的算法有线性叠代法、分段三次多项式插值法、正轴抛物线平均加权法、斜轴抛物线平均加权法、样条函数插值法等。

4.3.3 栅格结构的建立途径

（1）手工获取，专题图上划分均匀网格，逐个决定其网格代码。

（2）扫描仪扫描专题图的图像数据{行、列、颜色（灰度）}，定义颜色与属性对应表，用相应属性代替相应颜色，得到（行、列、属性）再进行栅格编码、存贮，即得该专题图的栅格数据。

（3）由矢量数据转换而来。

（4）遥感影像数据，对地面景象的辐射和反射能量的扫描抽样，并按不同的光谱段量化后，以数字形式记录下来的象素值序列。

（5）格网 DEM 数据，当属性值为地面高程，则为格网 DEM，通过 DEM 内插得到。

4.3.4 混合数据结构与一体化数据结构

地信网论坛 BBS.3S001.COM

从构造结构的远景来看，矢量与栅格结构是一逻辑对偶。矢量结构的基本逻辑单位是空间实体，如问、湖、道路等、这些实体的空间组织是按其实体的标识显式地存储 的。相反地，栅格结构的基本逻辑单位是实体的空间的位置， 已知物体在哪个位置上的存储是以位置属性显式地存储的。

矢量数据结构的明显优点在于：通过给定唯一的目标标识(或逻辑编号)使每个物 体具有良好的可个性化的特性，并能根据名称利各种复合的条件使每一个物体具有良好 的可选取性，便于空间查询与空间分析。所以日前大部分 GIS 软件部采用矢量数据结构。

然而栅格数据在 GIS 中亦有重要作用，特别是在 GIS 与遥感和 DEM 结合方面，具有不可替代的作月。所以研究矢量数据和栅格数据的混合存储和混合处理，亦足现代 GIS 发展的一个重要课题。

（1）矢量份格混合数据结构

矢量栅格混合数据结构有多种形式。最简单最直按的形式是矢量栅格数据不作任何 特殊处理，分别与它们各自的数据结构存储，需要时将它们调入到内存，进行统一的显示、查询和分析。这种处理方式在许多系统中均已实现，特别是遥感影像或航空影像或 扫描的栅格地图，作为矢量 GIS 一个背景层，成为了 GIS 的一个必备的功能。这种结合方式，在数据结构上不存在问题，而在矢量与栅格结合处理的功能上，因系统而异。

比较高级的功能是栅格层不仅可以是以 byte 存储的影像，而且可以是任意数值或字符的地物编码，这样可以进行矢量栅格的联合查询与分析。

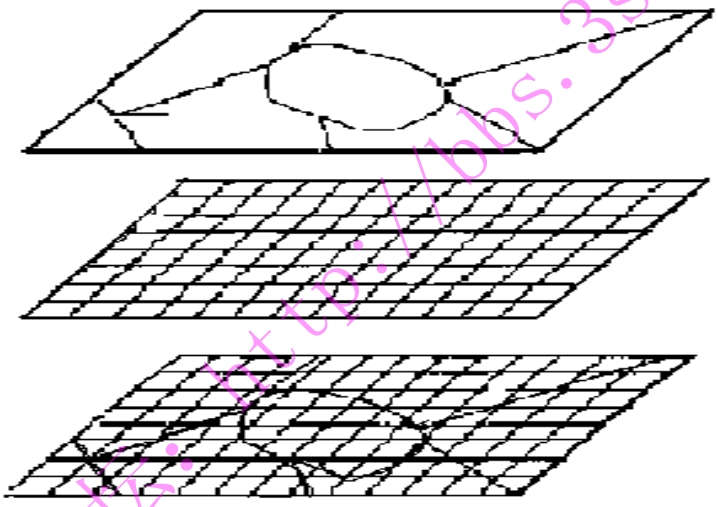


图 矢量与栅格的混合叠置

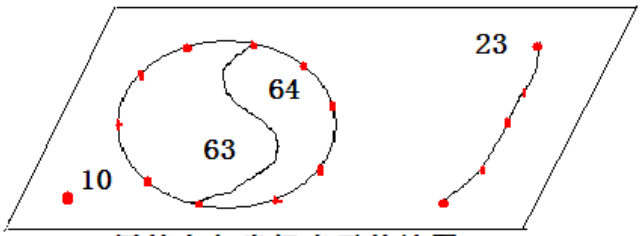
5 矢栅一体化概念

矢栅一体化是将矢量面对目标的方法和栅格元子充填的方法结合起来，具体采用填满线状目标路径和充填面状目标空间的方法作为一体化数据结构的基础。

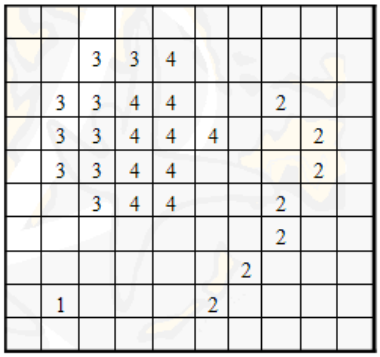
线状地物：除记录原始取样点外，还记录路径所通过的栅格。

面状地物：除记录它的多边形周边以外，还包括中间的面域栅格。

一方面，它保留了矢量的全部性质，以目标为单元直接聚集所有的位置信息，并能建立拓扑关系；另一方面，它建立了栅格与地物的关系，即路径上的任一点都直接与目标建立了联系。



用笛卡尔坐标表示的地图



顶级地质论坛：http://bbs.3s001.com/

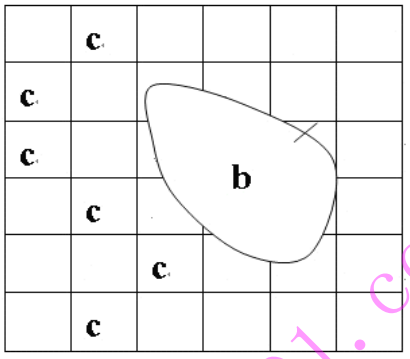
从原理上说，这是一种以矢量的方式来组织栅格数据的数据结构。

习　题

1 什么是游程长度编码？对下面左图中的图形进行游程长度编码。

2 如图，说明链式编码的过程，并对下面右图中图形进行链式编码（从划线标记顺时针编）。

	1	2	3	4	5	6
1	3	3	3	4	4	4
2	3	3	3	3	4	4
3	1	1	3	3	4	4
4	1	1	1	3	2	2
5	1	1	2	2	2	2
6	1	1	2	2	2	2



第四章　数据采集与输入

1 GIS 数据来源

（1）地图数据　　（2）遥感图像

（3）数字资料，如社会经济数据、人口普查数据、野外调查或监测数据等。统计数据是 GIS 建立属性数据库必不可少的资料，常常在分析中起着重要的作用 。

（4）文字报告，各种文字说明资料，对确定专题内容的属性特征起着重要的作用。

2 数据规范化和标准化

GIS 数据规范化和标准化直接影响地理信息的共享，而地理信息共享又直接影响到 GIS 经济效益和社会效益。

（1）统一的地理基础：主要包括统一的地图投影系统、统一的地理坐标系统以及统一的地理编码系统。

（2）统一的分类编码原则

（3）数据交换格式标准

（4）标准的数据采集技术规程，包括图形数据采集技术规程和摄影测量数据采集的技术规程

（5）数据标准化所面临的问题。数据标准化问题直接受到传统地理学研究成果的制约。数据标准化面临的另一个重要问题是数据模型的标准化。

3 数据输入

数据输入包括空间数据和属性数据（非空间数据）两方面数据的输入。

3.1 属性数据的采集

对于要输入属性库的属性数据，通过键盘则可直接键入。

对于要直接记录到栅格或矢量数据文件中的属性数据，则必须先对其进行编码，将各种属性数据变为计算机可以接受的数字或字符形式，便于 GIS 存储管理。

3.1.1 属性编码原则

（1）编码的系统性和科学性。　　（2）编码的一致性。

（3）编码的标准化和通用性。　　（4）编码的简捷性。

（5）编码的可扩展性。

3.1.2 属性编码内容

地信网论坛 BBS.3S001.COM
地信网论坛：http://bbs.3s001.com/

地信网论坛 BBS.3S001.COM

（1）登记部分，用来标识属性数据的序号，可以是简单的连续编号，也可划分不同层次进行顺序编码；

（2）分类部分，用来标识属性的地理特征，可采用多位代码反映多种特征；

（3）控制部分，用来通过一定的查错算法，检查在编码、录入和传输中的错误，在属性数据量较大情况下具有重要意义。

3.1.3 属性编码方法

（1）列出全部制图对象清单。

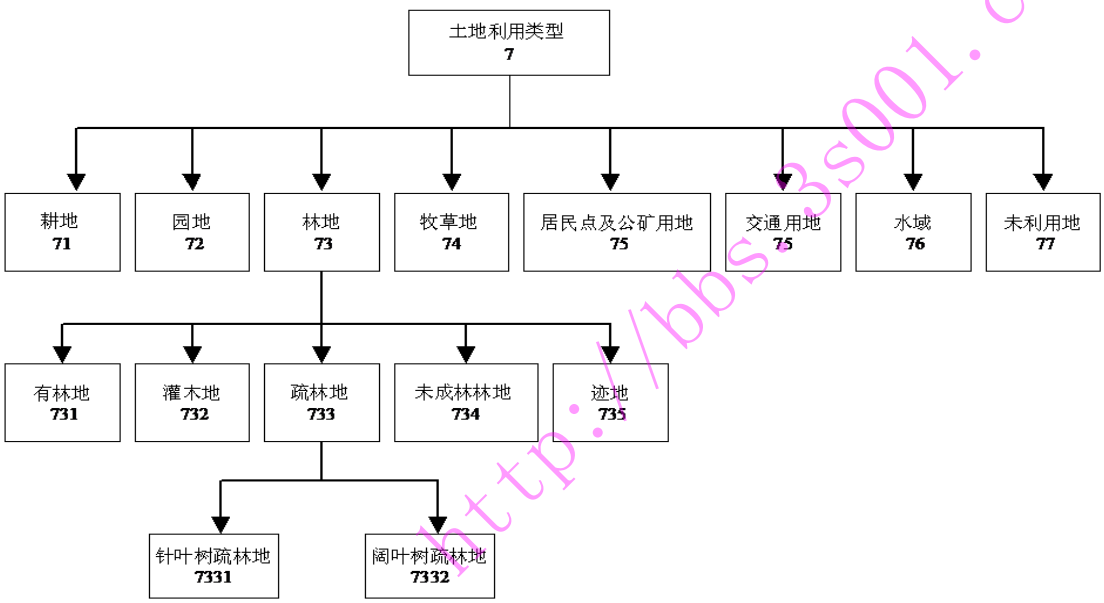
（2）制定对象分类，分级原则和指标将制图对象进行分类、分级。

（3）拟定分类代码系统。

（4）设定代码及其格式。设定代码使用的字符和数字、码位长度、码位分配等。

（5）建立代码和编码对象的对照表．这是编码最终成果档案，是数据输人计算机进行编码的依据。

（Ⅰ）层次分类编码法：



（Ⅱ）多源分类编码法

又称独立分类编码法。是指对于一个特定的分类目标，根据诸多不同的分类依据分别进行编码，各位数字代码之间并没有隶属关系。

3.2 空间数据的输入

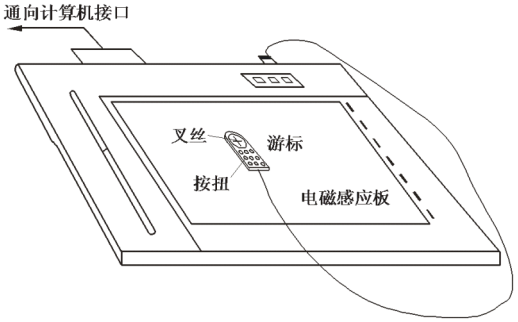
实现空间数据的快速采集与更新，必须解决三个问题：一是图形图像识别的智能化；二是多种信息源数据采集的技术集成；三是数据资源的共享。其中，难度最大、最迫切需要解决的是第一个问题。

3.2.1 键盘输入

3.2.2 手扶跟踪数字化输入

（1）数字化仪简介

利用手扶跟踪数字化仪，将地图图形转换成矢量数据的方法。数字化时随着标示器的移动，顺序、实时记录当前点的平面坐标值。



原创地质论坛：http://bbs.3s001.com/

地信网论坛 BBS.3S001.COM

（2）数字化过程

把待数字化的图件固定在图形输入板上，首先用鼠标器输入图幅范围和至少四个控制点的坐标，随后即可输入图幅内各点、曲线的坐标。

通过数字化仪采集数据数据量小，数据处理的软件也比较完备，但由于数字化的速度比较慢，工作量大，自动化程度低，数字化的精度与作业员的操作有很大关系，所以，目前很多单位在大批量数字化时，已不再采用它。

（3）数字化方式——点方式和流方式

（4）数字化的精度

数字化精度受数字化仪误差、数字化方式、操作人员人为误差、编稿原图误差等多种因素的影响。

3.2.3 扫描数字化仪输入

扫描仪可分为滚筒式（卷纸）、平板式、CCD 直接摄像式三种

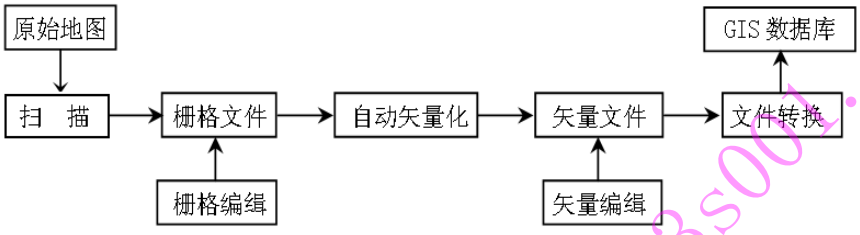


图 扫描并自动矢量化的过程

3.2.4 扫描与手工数字化比较

3.2.5 现有数据转换

3.3 非空间属性数据的输入

3.4 空间数据和非空间数据的连接

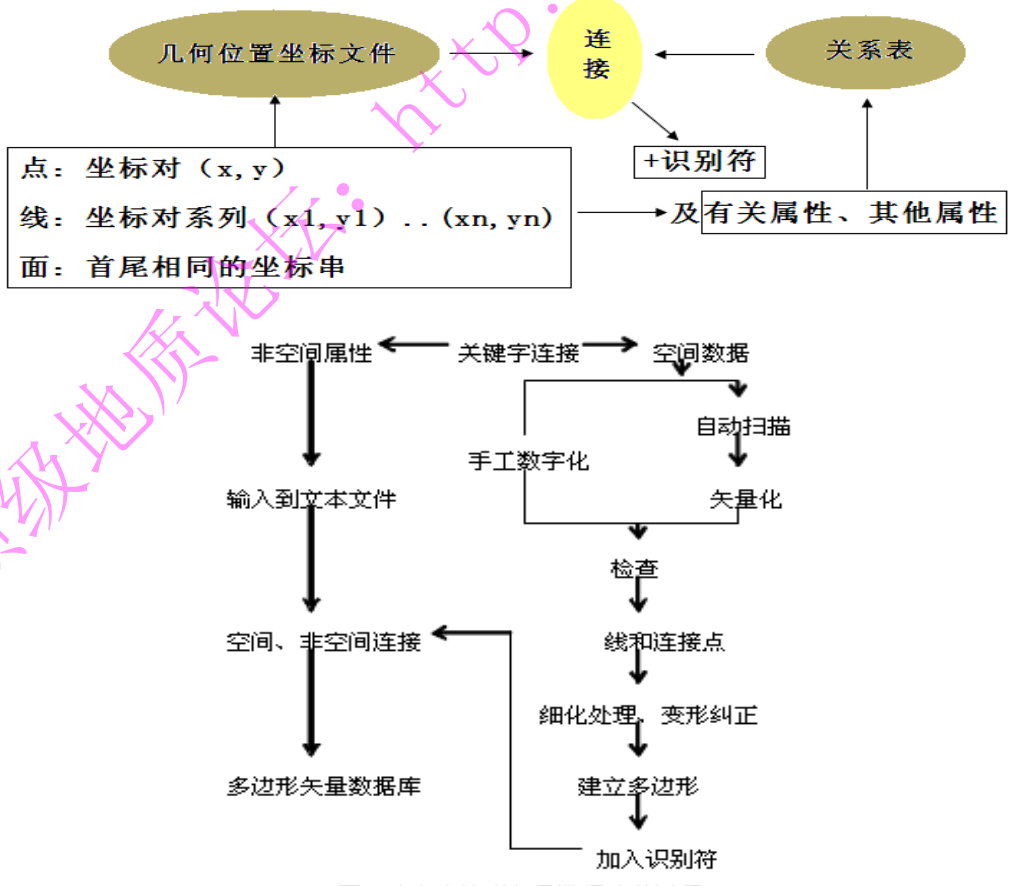


图 建立多边形矢量数据库的过程

顶级地质论坛：http://bbs.3s001.com/

地信网论坛 BBS.3S001.COM

4 空间数据的编辑与处理

4.1 误差或错误的检查与编辑

（1）空间数据的不完整或重复：主要包括空间点、线、面数据的丢失或重复、区域中心点的遗漏、栅格数据矢量化时引起的断线等；

（2）空间数据位置的不准确：主要包括空间点位的不准确、线段过长或过短、线段的断裂、相邻多边形结点的不重合等；

（3）空间数据的比例尺不准确；

（4）空间数据的变形；

（5）空间属性和数据连接有误；

（6）属性数据不完整；

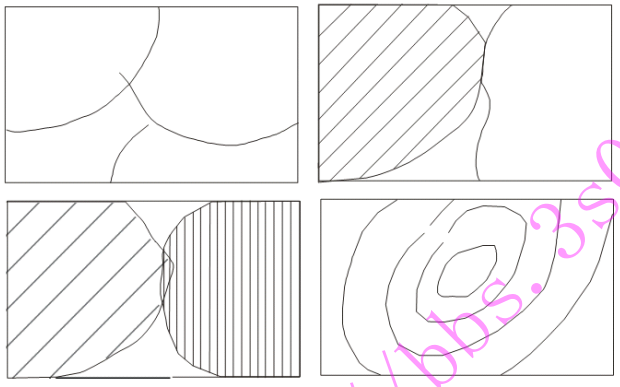


图　数字化几种误差示例

4.2 为发现并有效消除误差，一般采用如下方法进行检查：

（1）叠合比较法，

（2）目视检查法:线段过长或过短、多边形的重叠和裂口、线段的断裂等

（3）逻辑检查法，如根据数据拓扑一致性进行检验，将弧段连成多边形，进行数字化误差的检查。

◆对于空间数据的不完整或位置的误差，主要是利用 GIS 的图形编辑功能，如删除（目标、属性、坐标），修改（平移、拷贝、连接、分裂、合并、整饰），插入等进行处理；

◆对空间数据比例尺的不准确和变形，可以通过比例变换和纠正来处理。

http://bbs.3s001.com/ 测绘地质论坛

第五章　空间数据管理：空间数据库

数据库技术是计算机科学技术的一个重要分支。自 1968 年第一个商品化的数据库管理系统 IMS 问世以来，数据库技术得到了迅速发展。随着计算机应用的不断深入，数据库的重要性日益被人们认识，它已成为信息管理、办公自动化、计算机辅助设计等方面的主要手段。

1 数据库的基本概念

1.1 数据库的基本概念

数据库：(Data Base)是计算机系统对数据资源的一种管理技术，是存储在计算机内的有序结构的数据集合。

逻辑单位：从应用的角度来观察数据，是从数据与其所描述的对象之间的关系来划分数据层次，一般可分为数据项、数据项组、记录、文件和数据库。

物理单位：数据在存储介质上存储单位，一般可分为位（比特）、字节、字、块（物理记录）和卷。

1.2 数据库管理系统

数据库管理系统（Data Base Management System, DBMS)是一个帮助用户建立、使用和管理数据库的软件系统，如 ORACLE、SQL、DBASE、FoxBase/ForPro、Access 等。

地信网论坛 BBS.35001.COM

功能：
- **数据库定义**：全局逻辑数据结构定义、用户数据库定义、保密定义、信息格式定义。
- **数据库管理**：系统控制、数据库存取及更新管理、数据完整性及有效性控制、并发控制等。
- **数据库维护**：数据库建立、更新和数据库重编、数据库结构维护、数据库恢复以及性能监视等。
- **数据库通信**：与操作系统的联机处理、具有分时系统及远程作业控制的相应接口及通信口。

1.3 数据库系统

数据库系统(Data Base System)是指计算机系统中引进数据库后的系统构成。由数据库、数据库管理系统、数据库管理员和用户所组成。也就是说数据库系统是由支持数据库的硬件设备、软件系统、专业领域的数据群体和管理人员构成的计算机运行系统。

数据库和数据管理系统是数据库系统的主要组成部分。前者是以一定的组织方式存储在一起的、相互关联的数据集合，是应用程序利用数据资源的基础。后者是用以管理数据库的软件，以保证数据库以最佳的方式、最少的重复和最快的速度为多种应用服务。

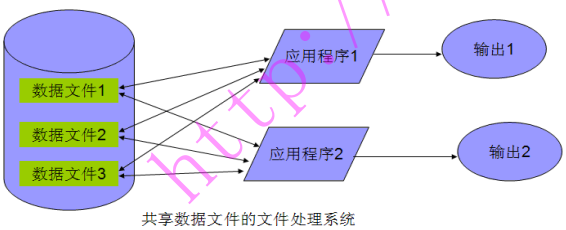
1.3.1 数据库系统的主要特征

①数据量大　②保存持久　③多用户共享　④可靠性
⑤数据独立性　⑥减少数据冗余　⑦数据的结构化

1.3.2 数据管理技术的发展

（Ⅰ）人工管理阶段

（Ⅱ）文件管理系统阶段



共享数据文件的文件处理系统

（1）数据文件的类型

数据文件按其数据组织方式可以划分为简单文件、顺序文件和索引文件 3 类。

（2）文件系统的特点

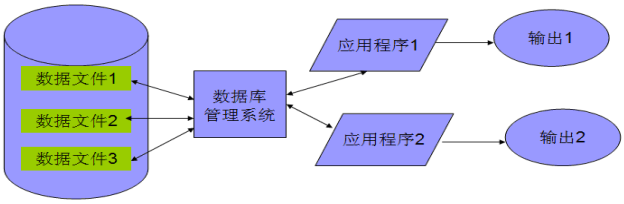
文件的应用是计算机数据处理的重大进展。数据文件可以按名引用，应用程序通过文件管理系统与数据文件发生联系，数据的物理结构与逻辑结构间有了简单变换，简化了程序员的数据管理工作。同时，一个应用程序可以和几个数据文件发生联系，增加了数据处理的灵活性。

存在问题：

①数据冗余度大　②相同数据间没有一致的保护措施
③应用程序与数据结构互相依赖　④增加了程序的复杂性

（Ⅲ）数据库管理系统阶段

数据库管理系统是在文件处理系统的基础上进一步发展的系统，在用户应用程序和数据文件之间起到了桥梁作用。它的最大优点是提供了两者之间的数据独立性，即应用程序访问数据文件时，不必知道数据文件的物理存储结构。当数据文件的存储结构改变时，不必改变应用程序。



测绘地信论坛：http://bbs.35001.com/

地信网论坛 BBS.3S001.COM

优点：

①集中控制　　②数据可以共享

③数据的独立性　　④易扩充新的数据库应用

⑤用户直接访问数据库　　⑥冗余信息得到控制

⑦多种用户观点

缺点：

①建立数据库的费用较高　　②添加内容时变得复杂

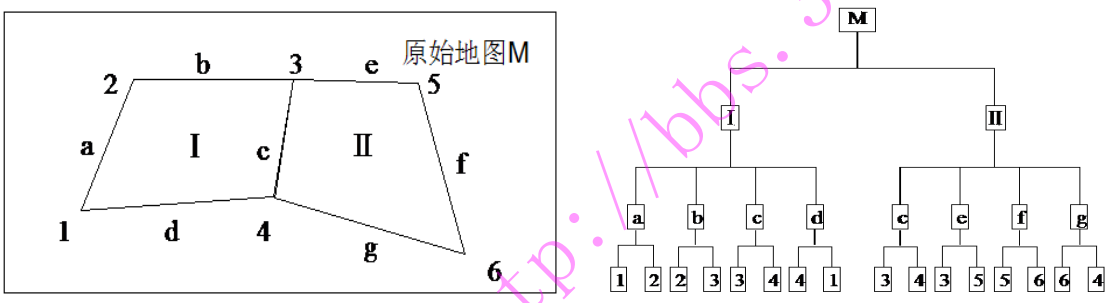
③风险集中化

2 数据库系统的主要数据模型

根据数据库结构的不同划分为以下几种数据库模型：层次模型、网络模型、关系模型、分布式模型、面向对象模型。

2.1 层次模型

层次模型是数据处理中发展较早、技术上也比较成熟的一种数据模型。它的特点是将数据组织成有向有序的树结构。层次模型由处于不同层次的各个结点组成。除根结点外，其余各结点有且仅有一个上一层结点作为其“双亲”，而位于其下的较低一层的若干个结点作为其“子女”。结构中结点代表数据记录，连线描述位于不同结点数据间的从属关系(限定为一对多的关系)。



层次数据库将组织成一对多的关系结构，特别适用于文献目录、土壤分类、部门机构等分级数据的组织。

存在问题：

①由于层次结构的严格限制，对任何对象的查询必须始于其所在层次结构的根，使得低层次对象的处理效率较低，并难以进行反向查询。数据的更新涉及许多指针，插入和删除操作也比较复杂。母结点的删除意味着其下属所有子结点均被删除，必须慎用删除操作。

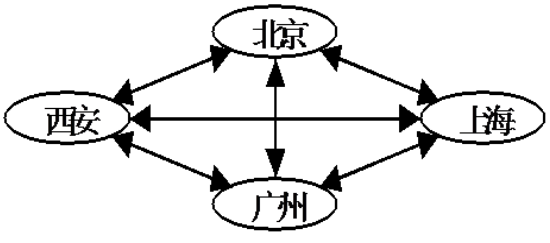
②不能表达多对多联系，并导致数据冗余度增加。

③数据独立性较差。

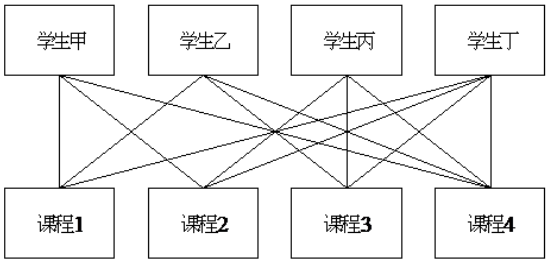
2.2 网状模型

网络数据模型是数据模型的另一种重要结构，它反映着显示世界中实体间更为复杂的联系，其基本特征是，结点数据间没有明确的从属关系，一个结点可与其它多个结点建立联系。

网络模型用连接指令或指针来确定数据间的显式连接关系，是具有多对多类型的数据组织方式，网络模型将数据组织成有向图结构。结构中结点代表数据记录，连线描述不同结点数据间的关系。



实　　例



优点：

原公地质论坛：http://bbs.3s001.com/

地信网论坛 BBS.3S001.COM

是可以描述现实生活中极为常见的多对多的关系，其数据存贮效率高于层次模型，但其结构的复杂性限制了它在空间数据库中的应用。网络模型在一定程度上支持数据的重构，具有一定的数据独立性和共享特性，并且运行效率较高。适用于数据间相互关系非常复杂的情况。

问题：

①由于数据间联系要通过指针表示，指针数据项的存在使数据量大大增加，当数据间关系复杂时指针部分会占大量数据库存贮空间。

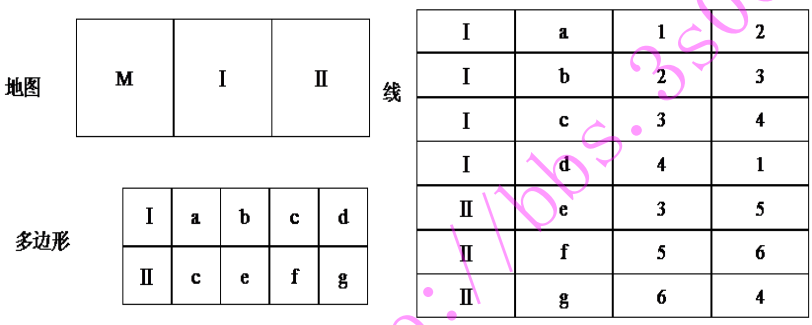
②修改数据库中的数据 ，指针也必须随着变化。因此，网络数据库中指针的建立和维护可能成为相当大的额外负担。

2.3 关系模型

在层次与网络模型中，实体间的联系主要是通过指针来实现的，即把有联系的实体用指针连接起来。而关系模型则采用完全不同的方法。

关系模型是根据数学概念建立的，实体本身的信息以及实体之间的联系均表现为二维表，这种表就称为关系。一个实体由若干个关系组成，而关系表的集合就构成为关系模型。

关系模型不是人为地设置指针，而是由数据本身自然地建立它们之间的联系，并且用关系代数和关系运算来操纵数据，这就是关系模型的本质。



关系数据模型示意图

优点：

①能够以简单、灵活的方式表达现实世界中各种实体及其相互间关系，使用与维护也很方便 。关系模型通过规范化的关系为用护提供一种简单的用户逻辑结构。所谓规范化，实质上就是使概念单一化，一个关系只描述一个概念，如果多于一个概念，就要将其分开来。

②关系模型具有严密的数学基础和操作代数基础——如关系代数、关系演算等，可将关系分开，或将两个关系合并，使数据的操纵具有高度的灵活性；

③在关系数据模型中，数据间的关系具有对称性，因此，关系之间的寻找在正反两个方向上难度程度是一样的，而在其它模型如层次模型中从根结点出发寻找叶子的过程容易解决，相反的过程则很困难。

2.4 面向对象模型

面向对象的定义是指无论怎样复杂的事例都可以准确地由一个对象表示。每个对象都是包含了数据集和操作集的实体，即是说，面向对象的模型具有封装性的特点。

面向对象就是用某物(对象),是什么(类),有什么(对象的状态),能干什么(方法)的方式来描述程序的方法。

2.4.1 面向对象的概念

（1）对象与封装性（Encapsulation）

一个对象是由描述该对象状态的一组数据和表达它的行为的一组操作（方法）组成的。

一个对象 object 可定义成一个三元组：

$$object = (ID, S, M)$$

其中，ID 为对象标识，M 为方法集，S 为对象的内部状态

（2）分类

地信网论坛 BBS.3S001.COM

类是关于同类对象的集合，具有相同属性和操作的对象组合在一起。属于同一类的所有对象共享相同的属性项和操作方法，每个对象都是这个类的一个实例，即每个对象可能有不同的属性值。可以用一个三元组来建立一个类型：

$$class = (CID, CS, CM)$$

其中，CID 为类标识或类型名，CS 为状态描述部分，CM 为应用于该类的操作。显然有，S∈CS 和 M=CM, 当 object∈class 时.

（3）概括(Generalization)

在定义类型时，将几种类型中某些具有公共特征的属性和操作抽象出来，形成一种更一般的超类。例如，将 GIS 中的地物抽象为点状对象、线状对象、面状对象以及由这三种对象组成的复杂对象，因而这四种类型可以作为 GIS 中各种地物类型的超类。

(4)继承

继承是一种服务于概括的工具。在上述的概念中，子类的某些属性和操作来源于它的超类，也就是说可以将超类的属性和操作遗传给子类及子类的子类。

（5）联合(Association)

在定义对象时，将同一类对象中的几个具有相同属性值的对象组合起来，为了避免重复，设立一个更高水平的对象表示那些相同的属性值。

（6）聚集(Aggregation)

聚集是将几个不同特征的对象组合成一个更高水平的对象。每个不同特征的对象是该复合对象的一部分，它们有自己的属性描述数据和操作，这些是不能为复合对象所公用的，但复合对象可以从它们那里派生得到一些信息。例如，弧段聚集成线状地物或面状地物，简单地物组成复杂地物。

面向对象其实是现实世界模型的自然延伸。现实世界中任何实体都可以看作是对象。对象之间通过消息相互作用。另外，现实世界中任何实体都可归属于某类事物，任何对象都是某一类事物的实例。

现实世界中的对象均有属性和行为，映射到计算机程序上，属性则表示对象的数据，行为表示对象的方法（其作用是处理数据或同外界交互）。所谓封装，就是用一个自主式框架把对象的数据和方法联在一起形成一个整体。可以说，对象是支持封装的手段，是封装的基本单位。

继承是指一个对象直接使用另一对象的属性和方法。事实上，我们遇到的很多实体都有继承的含义。例如，若把汽车看成一个实体，它可以分成多个子实体，如：卡车、公共汽车等。这些子实体都具有汽车的特性，因此，汽车是它们的"父亲"，而这些子实体则是汽车的"孩子"。

3 地图数据模型总论

3.1 地图数据的基本组成

空间数据
- 空间定位
- 空间量度
- 空间结构
- 空间聚合

非空间数据
- 专题属性数据(土壤类型、土地利用)
- 质量描述数据(名称等)

时间因素

3.2 图形数据的构模

(1)矢量数据模型：面条模型、拓扑模型

(2)面片数据模型：网格系统、多边形系统

3.3 专题属性数据的构模

常用的专题属性数据构模是关系数据模型

3.4、图形数据与专题属性数据的连接

(1)图形数据与专题属性数据分别管理

顶级地理论坛：http://bbs.3s001.com/

地信网论坛 BBS.3S001.COM

(2)对通用 DBMS 扩展以增加空间数据的管理能力

(3)属性数据与图形数据具有统一的结构

(4)图形数据与属性数据自成体系

3.5 GIS 中空间数据库的组织方式

GIS 中的数据大多数都是地理数据，它与通常意义上的数据相比，具有自己的特点：地理数据类型多样，各类型实体之间关系复杂，数据量很大，而且每个线状或面状地物的字节长度都不是等长的等等。地理数据的这些特点决定了利用目前流行的数据库系统直接管理地理空间数据，存在着明显的不足，GIS 必须发展自己的数据库-空间数据库。

传统数据库与空间数据库的比较表

	传统数据库	空间数据库
数据连续性/相关性	不连续、相关性小	连续、较强空间相关性
实体类型/空间关系	少、简单固定	多、复杂且不固定
记录长度	结构化、等长	非结构化、不等长
查询与操作	文字、数字	文字数字、空间图形

空间数据库是一种应用于地理空间数据处理与信息分析领域的的数据库，它所管理的对象主要是地理空间数据(包括空间数据和非空间数据)。

传统数据库系统管理地理空间数据的局限性：

(1)传统数据库系统管理的是不连续的、相关性较小的数字和字符；而地理信息数据是连续的，并且具有很强的空间相关性。

(2)传统数据库系统管理的实体类型较少，并且实体类型之间通常只有简单、固定的空间关系；而地理空间数据的实体类型繁多，实体类型之间存在着复杂的空间关系，并且还能产生新的关系(如拓扑关系)。

(3)传统数据库系统存贮的数据通常为等长记录的数据；而地理空间数据通常由于不同空间目标的坐标串长度不定，具有变长记录，并且数据项也可能很大，很复杂。

(4)传统数据库系统只操纵和查询文字和数字信息；而空间数据库中需要有大量的空间数据操作和查询，如相邻、连通、包含、叠加等。

目前，大多数商品化的 GIS 软件都不是采取传统的某一种单一的数据模型，也不是抛弃传统的数据模型，而是采用建立在关系数据库管理系统(RDBMS)基础上的综合的数据模型，归纳起来，主要有以下三种：

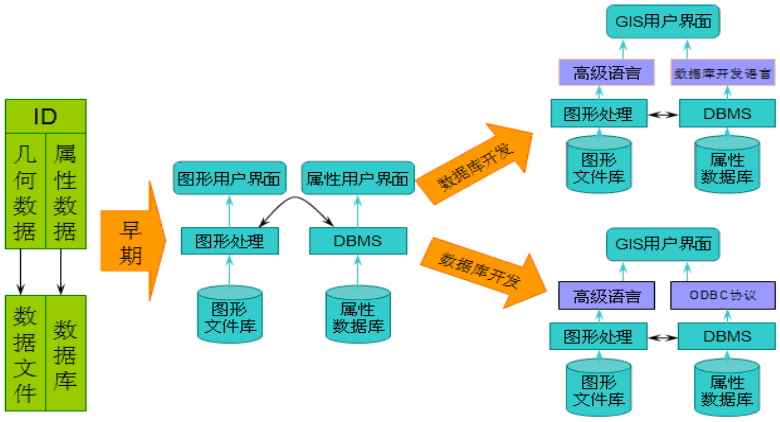
（1）基于文件与关系式数据库的空间数据混合管理方案

◆属性数据建立在 RDBMS 上，数据存储和检索比较可靠、有效；

◆几何数据采用图形文件管理，功能较弱，特别是在数据的安全性、一致性、完整性、并发控制方面，比商用数据库要逊色得多。

◆空间数据分开存储，数据的完整性有可能遭到破坏。

◆GIS 软件：Arc/Info，MapInfo，GenMap 等



顶尖地信论坛：http://bbs.3s001.com/

地信网论坛 BBS.3S001.COM

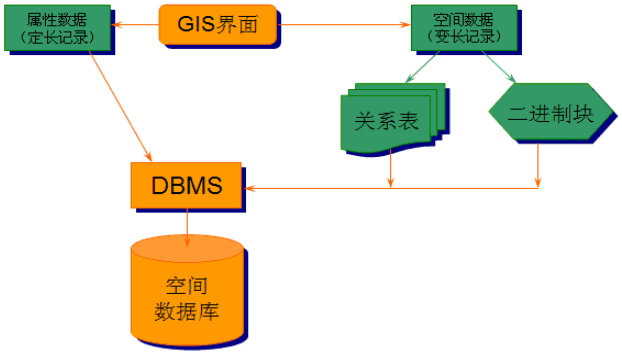
（2）基于关系式数据库的空间数据管理方案

◆属性数据、几何数据同时采用关系式数据库进行管理

◆空间数据和属性数据不必进行烦琐的连接，数据存取较快

◆属间接存取，效率比 DBMS 的直接存取慢，特别是涉及空间查询、对象嵌套等复杂的空间操作

◆GIS 软件：System9，Small World、Geovision 等



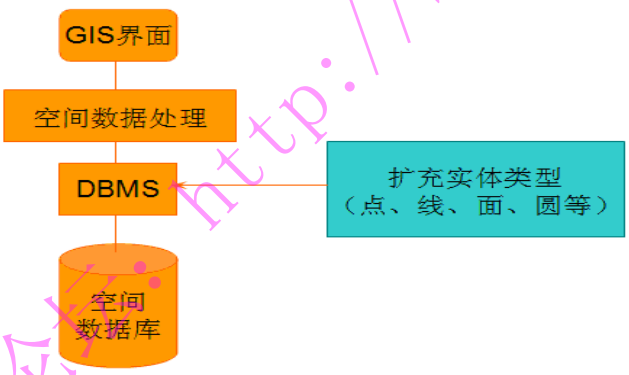
（3）基于对象—关系式数据库的空间数据管理方案。

◆对现有的关系数据库进行扩展，增加空间数据类型

◆解决了空间数据变长记录的存储问题，由数据库软件商开发，效率较高

◆用户不能根据 GIS 要求进行空间对象的再定义，因而不能将设计的拓扑结构进行存储

◆GIS 软件：TIGER，Geo++、Geo Tropics 等



顶级地质论坛 http://bbs.3s001.com/

第六章 空间分析

1 空间分析概述

空间分析源于 60 年代地理和区域科学的计量革命，在开始阶段，主要是应用定量（主要是统计）分析手段用于分析点、线、面的空间分布模式。后来更多的是强调地理空间本身的特征、空间决策过程和复杂空间系统的时空演化过程分析。实际上自有地图以来，人们就始终在自觉或不自觉地进行着各种类型的空间分析。如在地图上量测地理要素之间的距离、方位、面积，乃至利用地图进行战术研究和战略决策等，都是人们利用地图进行空间分析的实例，而后者实质上已属较高层次上的空间分析

地理信息系统集成了多学科的最新技术，如关系数据库管理，高效图形算法，插值，区划和网络分析，为空间分析提供了强大的工具，使得过去复杂困难的高级空间分析任务变得简单易行。目前绝大多数地理信息系统软件都有空间分析功能。空间分析早已成为地理信息系统的核心功能之一，它特有的对地理信息（特别是隐含信息）的提取、表现和传输功能，是地理信息系统区别于一般信息系统的主要功能特征。

空间分析是对分析空间数据有关技术的统称。根据作用的数据性质不同，可以分为：（1）基于空间图形数据的分析运算；（2）基于非空间属性的数据运算；（3）空间和非空间数据的联合运算。

空间分析赖以进行的基础是地理空间数据库，其运用的手段包括各种几何的逻辑运算、数理统计分析，代数运算等数学手段，最终的目的是解决人们所涉及到地理空间的实际问题，提取和传输地理空间信息，特别是隐含信息，以辅助决策。

就字面解释，空间分析可分为“空间数据的分析”和“数据的空间分析”。空间数据的分析着重于空间物体和现象的非空间特性分析，一般来说并不将数据的空间特性作为限制性因子加以考虑，空间数据所描述的事物的具体空间位置在分析中也不起制约作用。如聚类分析广泛用于地理统计数据的分析.但在分析中，仅考虑了与统计样本有关的统计量的特征，不考虑这些统计样本在地理空间的分布特性及其相互间的位置。

这类分析由于其分析的结果的解释都要依托地理空间进行，分析的结果在很多情况下也都是以地图的形式表现出来。因此这类分析尽管在分析的过程中没有考虑数据抽样点的空间位置，但其描述的仍然是空间过程，揭示的也是空间规律。

数据的空间分析是直接从空间物体的空间位置、联系等方面研究空间事物，以期对空间事物作出定量描述。从信息提取的角度来看，这类分析并不是严格意义是的空间分析，而是一种描述和说明，是特征的提取和参数的计算。

数据的空间分析需要复杂的数学工具，其中最主要的是空间统计学、图论、拓扑学、计算几何等。

2 空间分析的定义

2.1 空间分析是基于地理对象的空间布局的地理数据分析技术

该定义是以地理目标的空间布局为分析对象，从传统的地理统计与数据分析的角度出发，将空间分析分为三个部分：统计分析、地图分析和数学模型。是一种统计型定义法，过于强调统计分析，而将地图分析和数学模型置于从属地位，从空间分析的需求和 GIS 的发展现状及前景看，这种定义不能完全概括空间分析的内涵

2.2 空间查询和空间分析是从 GIS 目标之间的空间关系中获取派生的信息和新的知识

该定义侧重于图形与属性信息的交互查询，以获取派生知识或新知识，其分析对象是地理目标的空间关系。该定义以数据库管理系统为基础，将空间分析的类型按数据库结构及查询需要来划分，认为空间分析由以下几部分组成：拓扑空间查询、缓冲区分析、叠置分析、空间集合分析和地学分析，其划分是以空间分析的操作类型为标准

空间分析

2.3 空间分析是基于地理对象的位置和形态特征的空间数据分析技术，其目的在于提取和传输空间信息

该定义侧重于空间信息的提取和空间信息传输，其分析对象是地理目标的位置和形态特征。它将空间信息分为：空间位置、空间分布、空间形态、空间距离、空间方位、拓扑、相似和相关。其对应的空间分析操作为：空间位置分析、空间分布分析、空间形态分析、空间关系分析和空间相关分析。它是一种信息提取型的定义方法，本质上仍是偏重于空间信息的管理，空间分析类型是依据空间信息类型来划分。

3 空间分析与 GIS 的结合

3.1 空间分析、应用模型与 GIS 的关系

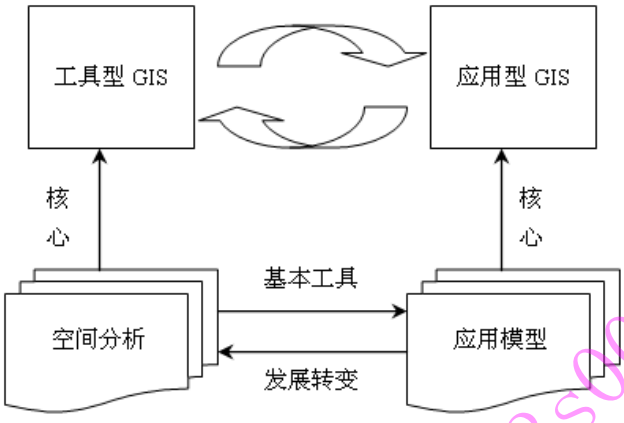
应用模型是在某一专业领域对解决具体问题所采用的分析方法和操作步骤的抽象，可用于解决同类问题或为解决相似问题提供参考。模型的建立都是为了解决具体的问题，即模型是面向应用的，一般来说，专业应用模型可分为若干个子过程，各个子过程都需要一定的空间分析方法。空间分析和空间模型是两个层次上的问题，空间分析为空间模型的建立提供基本的分析工具，应用模型是对空间分析的应用和发展。

从功能上可以把 GIS 分为工具型 GIS 和应用型 GIS，前者如 ARC/INFO、MapInfo 等，后者如 CGIS、HUIS 等。应用型 GIS 是在工具型 GIS 基础上，根据用户的需求和应用的目的而设计的一种解决一类或

地信网论坛 BBS.3S001.COM

多类实际应用问题的 GIS。从这种意义上讲，空间分析是工具型 GIS 的核心和必备的功能，而应用模型则是应用型 GIS 的核心。空间分析方法与应用模型是 GIS 的一个很重要的组成部分，这一部分的好坏是衡量一个 GIS 的功能强弱的重要指标

随着技术的发展成熟和实际应用的进一步需求，一定的专业应用模型会逐渐成为广为接受的分析工具，作为一种基本的空间分析工具去建立更加专业、更为复杂的应用模型。而应用型 GIS 发展到一定阶段之后，会作为应用开发的基础平台为更广阔深入的应用提供服务而变成工具型 GIS



3.2 空间分析与 GIS 结合意义

GIS 是由应用需求的驱动而发展起来的，最初是为数据管理的需要而设计，其分析功能与其他功能相比比较薄弱。一般的 GIS 与提供一些空间分析的功能，如叠加分析、缓冲区分析、邻近分析等，但是都是以图形操作为主，并不是真正意义上以数学和模型为主的空间分析。

一般的 GIS 并不提供以数学和模型为主的空间分析。

空间分析的应用范围十分广泛，各种具有空间属性的空间对象都可通过空间分析揭示其空间分布特征。

一般来讲，GIS 侧重于图形显示和数据库管理，即描述空间对象及其属性的相互关系，而空间分析侧生于数值计算，即应用空间分析模型进行有关空间自相关、空间结构特征、空间插值、空间模拟等方面的计算。

为 GIS 增加空间分析模块可以使 GIS 具有更强的空间数据的分析能力，使 GIS 更加完整，功能更强大 。对于空间分析来说，GIS 可以使得空间分析的过程和结果更加清晰和方便，GIS 可以在以下几个方面对空间分析提供支持：

（1）用 GIS 确定空间采样方式。

空间数据采样是空间分析的一个最基本的过程，在很多情况下，采样的方式并不是唯一的，采样的方式与研究变量的空间分布特征有关，在不同的情况下可能采用不同的采样方式。GIS 可以帮助分析变量的空间分布方式，从而确定采样方式，也可以确定各种采样方式的费用及优缺点

（2）GIS 为空间分析提供数据源。

空间分析一般需要大量的数据支持，尤其是在空间分析的理论研究中，如果这些数据实地采样往往需要花费大量的人力和物力，研究者往往很难接受。这时可以利用 GIS 的数字地型模型(DTM)，采集高程、坡度、坡向等数据代替所需研究的变量进行研究，也可以利用 GIS 的叠加分析产生新的合乎空间分析要求的变量。而且 GIS 数字高程模型的格网数据对空间分析所需的数据量来说一般都能满足要求

（3）用 GIS 表达空间分析的结果。

空间分析是对具有空间坐标的变量进行的分析，分析的结果也往往具有空间分布特征，这种空间分布特征的图形表达正是 GIS 的长处。用 GIS 表达空间分析的结果，可以得到非常直观的效果，同时，空间分析的数据结果也可以存储在 GIS 空间数据库中

空间查询与量算

（4）查询和定位空间对象，并对空间对象进行量算

地信网论坛 http://bbs.3s001.com/

地信网论坛 BBS.3S001.COM

查询和定位空间对象，并对空间对象进行量算是 GIS 的基本功能之一，它是地理信息系统进行高层次分析的基础。在地理信息系统中，为进行高层次分析，往往需要查询定位空间对象，并用一些简单的量测值对地理分布或现象进行描述，如长度，面积，距离，形状等。实际上，空间分析首先始于空间查询和量算，它是空间分析的定量基础 。

4 空间查询

图形与属性互查是最常用的查询，主要有两类：**第一类**是按属性信息的要求来查询定位空间位置，称为“属性查图形”。如在中国行政区划图上查询人口大于 4000 万且城市人口大于 1000 万的省有哪些，这和一般非空间的关系数据库的 SQL 查询没有区别，查询到结果后，再利用图形和属性的对应关系，进一步在图上用指定的显示方式将结果定位绘出。

4.1 属性统计分析

GIS 中属性数据一般采用关系型数据库管理，因此，关系数据库中各种分析功能都可以对属性数据进行分析。

单纯对属性数据库的统计分析包括单属性统计、单属性函数变换、双属性分类统计、双属性数学运算等等。

单属性统计是对属性数据库中的某个字段，统计总和、最大值、最小值及平均值，给出字段值落在各个区间内或等于各个离散值的记录数，并据此绘制各类统计图（折线、直方、立体直方、饼图、立体饼图等）。

单属性函数变换是对选定的初等函数，将属性字段作为函数自变量，将字段值依次带入初等函数，得到变换结果。

双属性分类统计除了要选择分类字段，并划分出各类范围外，还需要指定统计字段和统计方式。

4.2 布尔逻辑查询

使用布尔逻辑的规则对属性以及空间特性进行运算操作来检索数据使 GIS 在检索功能方面具有了极大的灵活性，因为它允许用户按属性数据、空间特性形成任意的组合条件来查询数据。布尔逻辑的运算有和（AND）、或（OR）、异或（XOR）、非（NOT）等。

例如，在地下管网信息系统中假设集合 A 是埋深小于三米的煤气管道，集合 B 是长度大于 300 米的煤气管道。那么，逻辑运算 A AND B 就检索出埋深小于 3 米且长度大于 300 米的所有煤气管；A OR B 则检索出埋深小于 3 米及长度大于 300 米的所有煤气管；A XOR B 检索出所有埋深小于 3 米及长度大于 300 米的所有煤气管，但不包括两条件同时满足的那些;A AND NOT B 则检索出埋深小于 3 米但长度小于或等于 300 米的所有煤气管。

4.3 空间数据库查询语言

不同系统使用不同的查询方式，这就导致应用上的很多麻烦，因此人们一直在寻找适用于 GIS 的通用查询语言，并致力于建立相应标准。

GIS 中的查询首先是数据库的查询，SQL(Structured Query Language)作为关系型数据库的标准查询语言，因为它的非过程化描述和简洁性而备受青睐，为许多 GIS 所采用。

SQL 语句的基本结构如下：

SELECT 〈属性名〉 FROM 〈属性表〉 WHERE 〈条件〉

空间数据库是一种特殊的数据库，它与普通数据库的最大不同在于包含空间概念，而标准 SQL 语言不支持空间概念，目前多数 GIS 系统对此的解决方案是在 SQL 的基础上扩展空间概念描述、空间函数或空间操作，如增加 WITHIN 算子（SELECT 〈目标〉 WITHIN 〈区域〉），但目前的效果尚不太理想。

第二类是根据对象的空间位置查询有关属性信息，称为“图形查属性”。如一般地理信息系统软件都提供一个“INFO”工具，让用户利用光标，用点选、画线、矩形、圆、不规则多边形等工具选中地物，并显示出所查询对象的属性列表，可进行有关统计分析。该查询通常分为两步，首先借助空间索引，在地理信息系统数据库中快速检索出被选空间实体，然后根据空间实体与属性的连接关系即可得到所查询空间实体的属性列表。

原创地信论坛：http://bbs.3s001.com/

地信网论坛 BBS.3S001.COM

4.4 基于空间关系查询

空间实体间存在着多种空间关系，包括拓扑、顺序、距离、方位等关系。通过空间关系查询和定位空间实体是地理信息系统不同于一般数据库系统的功能之一。如查询满足下列条件的城市：

①在京沪线的东部；　　②距离京沪线不超过 50 公里；

③城市人口大于 100 万；　　④城市选择区域是特定的多边形。

整个查询计算涉及了空间顺序方位关系（京沪线东部），空间距离关系（距离京沪线不超过 50 公里），空间拓扑关系（使选择区域是特定的多边形），甚至还有属性信息查询（城市人口大于 100 万）

4.5 基于空间关系和属性特征查询

传统的关系数据库的标准 SQL 并不能处理空间查询，这是由于关系数据库技术的弱点造成的，对于 GIS 而言，需要对 SQL 进行扩展。对于传统的 SQL，要实现空间操作，需要将 SQL 命令嵌入一种编程语言中，如 C 语言。

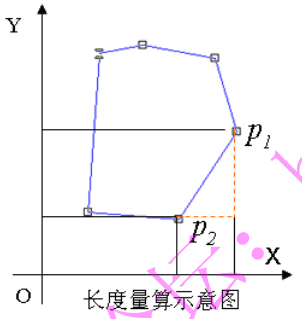
而新的 SQL 允许用户定义自己的操作，并嵌入到 SQL 命令中。 如地址匹配查询：根据街道的地址来查询事物的空间位置和属性信息是地理信息系统特有的一种查询功能，这种查询利用地理编码，输入街道的门牌号码，就可知道大致的位置和所在的街区。它对空间分布的社会、经济调查和统计很有帮助，只要在调查表中添了地址，地理信息系统可以自动地从空间位置的角度来统计分析各种经济社会调查资料。

5 空间量算

5.1 几何量算

包括长度量算和面积量算。

（1）线的长度　折线的长度等于其每段线段长度之和，多边形的周长实际上也是一条折线。



长度量算示意图

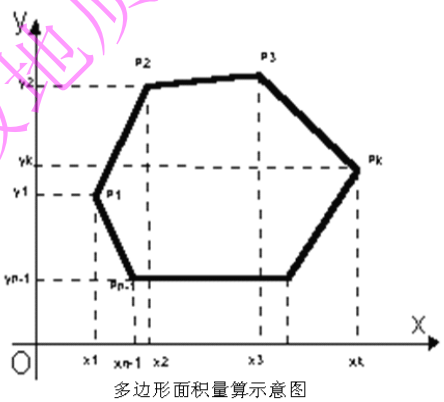
两点间的线段长度计算

设坐标为 $p_1(x_1, y_1)$，$p_2(x_2, y_2)$

则直线段　p_1p_2　长度为：

$$d=sqrt((x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2)$$

（2）面积量测　面状对象在计算机内部是以一系列首尾相接的坐标串表示的。按多边形顶点顺序依次求出多边形所有边与 x 轴(或 y 轴)组成的梯形的面积，然后求其代数和。



多边形面积量算示意图

假设有N个顶点，其面积计算公式为：

$$P_k=\frac{1}{2}(y_{k+1}+y_k)(x_{k+1}-y_k)$$

$$P=\sum_{k=1}^{n-1}P_k+\frac{1}{2}(y_n+y_1)(x_n-x_1)$$

注：总面积公式中第二项为最后一个点和第一点围成的梯形面积。

5.2 形状量算

面状地物形状量测包括空间一致性问题，即有孔多边形和破碎多边形的处理；多边形边界特征描述问题。

5.3 质心量算

质心是描述地理对象空间分布的一个重要指标。例如要得到一个全国的人口分布等值线图，而人

顶级地质论坛：http://bbs.3s001.com/

地信网论坛 BBS.3S001.COM

口数据只能到县级，所以必须在每个县域里定义一个点作为质心，代表该县的数值，然后进行插值计算全国人口等值线。

质心通常定义为一个多边形或面的几何中心，当多边形比较简单，比如矩形，计算很容易。但当多边形形状复杂时，计算很复杂。

5.4 距离量算

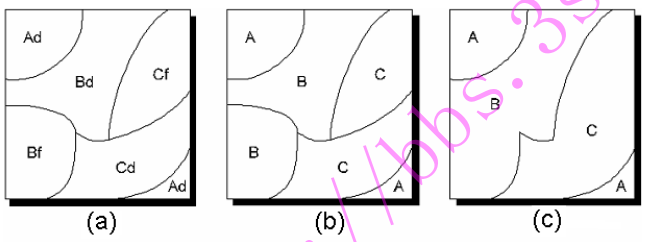
“距离”是人们日常生活中经常涉及到的概念，它描述了两个事物或实体之间的远近程度。最常用的距离概念是欧氏距离，无论是矢量结构，还是栅格结构都很容易实现

在 GIS 中，距离通常是两个地点之间的计算，但有时人们想知道一个地点到所有其它地点的距离，这时得到的距离是一个距离表面。

5.5 重分类，边界消除与合并（Reclassify, dissolve and merge）

重分类、边界消除与合并常常用在区域（多边形）数据的操作中。它们用来根据属性聚合区域。下图是一个例子。我们希望从一个数据层中得到土壤类型分布图，原始数据层中的多边形是根据更细的类别来划分的（每一个多边形中土壤类型和植被类型完全一致，（见图 a）。

1. 按照土壤类型这个属性项对原始数据层重分类（见图 b）。
2. 如果两相邻多边形具有相同土壤类型，则删除它们间的分界弧段，这就是边界消除。
3. 重建拓扑，将没有分界弧段的相邻多边形合成一个（见图 c）。



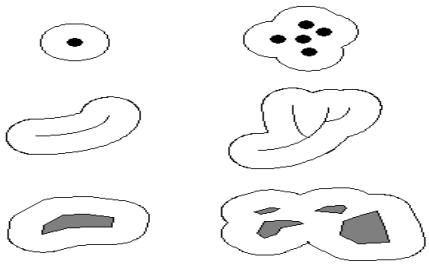
（用大写字母表示土壤类型的分类，小写字母表示植被类型的分类）

6 常见的空间分析

6.1 缓冲区分析

邻近度（Proximity）描述了地理空间中两个地物距离相近的程度，其确定是空间分析的一个重要手段。交通沿线或河流沿线的地物有其独特的重要性，公共设施（商场，邮局，银行，医院，车站，学校等）的服务半径，大型水库建设引起的搬迁，铁路，公路以及航运河道对其所穿过区域经济发展的重要性等，均是一个邻近度问题。缓冲区分析是解决邻近度问题的空间分析工具之一

所谓缓冲区就是地理空间目标的一种影响范围或服务范围。从数学的角度看，缓冲区分析的基本思想是给定一个空间对象或集合，确定它们的邻域，邻域的大小由邻域半径 R 决定



另外还有一些特殊形态的缓冲区，如点对象有三角形，矩形和圈形等，对于线对象有双侧对称，双侧不对称或单侧缓冲区，对于面对象有内侧和外侧缓冲区。这些适合不同应用要求的缓冲区，尽管形态特殊，但基本原理是一致的。

6.1.1 双线问题

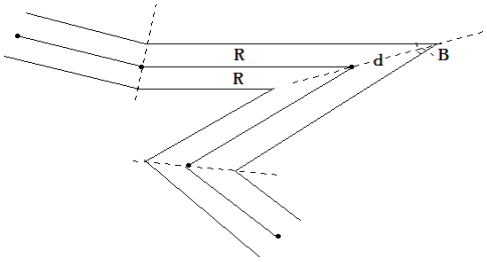
缓冲区计算的基本问题是双线问题。双线问题有很多另外的名称，如图形加粗，加宽线，中心线扩张等，它们指的都是相同的操作。

（1）角分线法

顶级地质论坛 http://bbs.3s001.com/

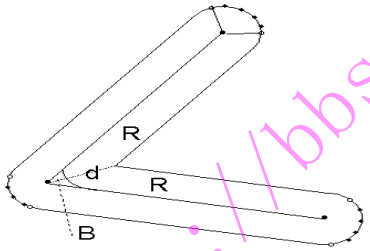
双线问题最简单的方法是角分线法（简单平行线法）。算法是在轴线首尾点处，作轴线的垂线并按缓冲区半径 R 截出左右边线的起止点；在轴线的其它转折点上，用与该线所关联的前后两邻边距轴线的距离为 R 的两平行线的交点来生成缓冲区对应顶点 。

角分线法的缺点是难以最大限度保证双线的等宽性，尤其是在凸侧角点在进一步变锐时，将远离轴线顶点。



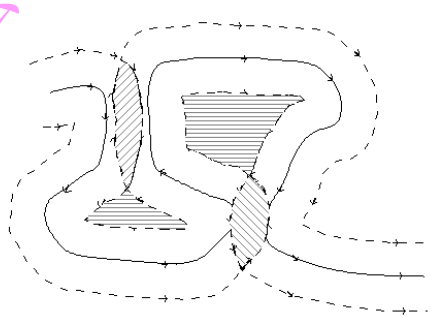
（2）凸角圆弧法

在轴线首尾点处，作轴线的垂线并按双线和缓冲区半径截出左右边线起止点；在轴线其它转折点处，首先判断该点的凸凹性，在凸侧用圆弧弥合，在凹侧则用前后两邻边平行线的交点生成对应顶点。这样外角以圆弧连接，内角直接连接，线段端点以半圆封闭。



6.1.2 自相交多边形问题

对于简单情形，缓冲区是一个简单多边形，但当计算形状比较复杂的对象或多个对象集合的缓冲区时，就复杂得多。为使缓冲区算法适应更为普遍的情况，就不得不处理边线自相交的情况。当轴线的弯曲空间不容许双线的边线无压盖地通过时，就会产生若干个自相交多边形 。



自相交多边形分为两种情况：岛屿多边形和重叠多边形。岛屿多边形是缓冲区边线的有效组成部分；重叠多边形不是缓冲区边线的有效组成，不参与缓冲区边线的最终重构。对于岛屿多边形和重叠多边形的自动判别方法，首先定义轴线坐标点序为其方向，缓冲区双线分成左右边线，左右边线自相交多边形的判别情形恰好对称。

对于左边线，岛屿自相交多边形呈逆时针方向，重叠自相交多边形呈顺时针方向；对于右边线，岛屿多边形呈顺时针方向，重叠多边形呈逆时针方向。

6.1.3 缓冲区分析实例（一）

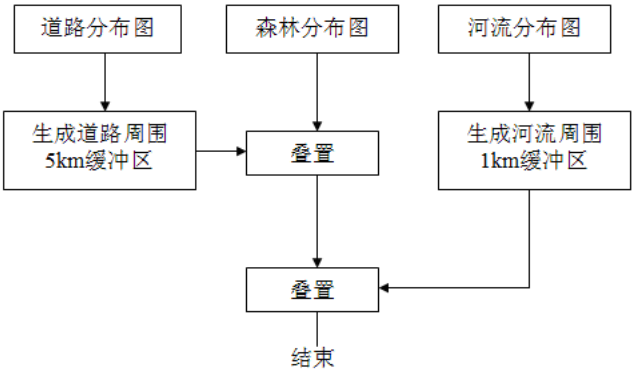
已知一伐木公司，获准在某林区采伐，为防止水土流失，规定不得在河流周围 1km 内采伐林木。另外，为便于运输，决定将采伐区定在道路周围 5km 之内。请找出符合上述条件的采伐区，输出森林采伐图。

顶级地质论坛：http://bbs.3s001.com/

地信网论坛 BBS.3S001.COM

解题步骤：

首先要以区域的道路分布图、河流分布图、森林分布图为数据源。解题流程见图所示。



解题流程

(1) 将该地区具有相同比例尺且进行配准的道路分布图、河流分布图、森林分布图，进行预处理和数字化；

(2) 利用河流分布图生成 1km 的等距离缓冲区；

(3) 利用道路分布图生成 5km 的等距离缓冲区；

(4) 森林分布图中可采伐林地、道路缓冲区及河流缓冲区图进行叠置，叠置条件表达式为：

采伐区 ＝ 森林分布图中可伐林地 ∩ 道路周围 5km 缓冲区∩非河流周围 1 km 缓冲区

最后将上述 3 张图进行两两叠置，所得结果即为森林采伐图。

6.1.4 缓冲区分析实例（二）

如已知一湖泊，要求在它周围 5000m 内必需禁止任何污染性工业企业存在，在它周围 500m 内必需禁止建筑任何永久性建筑物。

解题步骤：

（1）先建立缓冲区；

（2）同现有污染性工业企业图叠置，显示在范围内应禁止的污染性工业企业；

（3）同现有永久性建筑物图叠置，显示在范围内应禁止的永久性建筑物。

6.2 叠加分析

大部分 GIS 软件是以分层的方式组织地理景观，将地理景观按主题分层提取，同一地区的整个数据层集表达了该地区地理景观的内容。每个主题层，可以叫做一个数据层面。

地理信息系统的叠加分析是将有关主题层组成的数据层面，进行叠加产生一个新数据层面的操作，其结果综合了原来两层或多层要素所具有的属性。叠加分析不仅包含空间关系的比较，还包含属性关系的比较。GIS 叠加分析可以分为以下几类：视觉信息叠加、点与多边形叠加、线与多边形叠加、多边形叠加、栅格图层叠加。

6.2.1 视觉信息叠加

视觉信息叠加是将不同侧面的信息内容叠加显示在结果图件或屏幕上，以便研究者判断其相互空间关系，获得更为丰富的空间信息。地理信息系统中视觉信息叠加包括以下几类：

（1）点状图，线状图和面状图之间的叠加显示；

（2）面状图区域边界之间或一个面状图与其他专题区域边界之间的叠加；

（3）遥感影像与专题地图的叠加；

（4）专题地图与数字高程模型（DEM）叠加显示立体专题图。

视觉信息叠加不产生新的数据层面，只是将多层信息复合显示，便于分析。

6.2.2 点与多边形叠加

点与多边形叠加，实际上是计算多边形对点的包含关系。矢量结构的 GIS 能够通过计算每个点相对于多边形线段的位置，进行点是否在一个多边形中的空间关系判断。在完成点与多边形的几何关系计算后，还要进行属性信息处理。

原版地信论坛：http://bbs.3s001.com/

地信网论坛 BBS.3S001.COM

通过点与多边形叠加，可以计算出每个多边形类型里有多少个点，不但要区分点是否在多边形内，还要描述在多边形内部的点的属性信息。

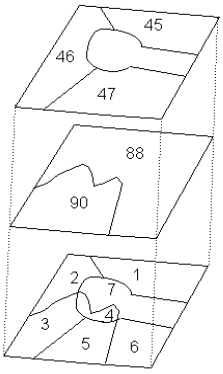
6.2.3 线与多边形叠加

线与多边形的叠加，是比较线上坐标与多边形坐标的关系，判断线是否落在多边形内。计算过程通常是计算线与多边形的交点，只要相交，就产生一个结点，将原线打断成一条条弧段，并将原线和多边形的属性信息一起赋给新弧段。

叠加的结果产生了一个新的数据层面，每条线被它穿过的多边形打断成新弧段图层，同时产生一个相应的属性数据表记录原线和多边形的属性信息。根据叠加的结果可以确定每条弧段落在哪个多边形内，可以查询指定多边形内指定线穿过的长度。例如，如果线状图层为河流，叠加的结果是多边形将穿过它的所有河流打断成弧段，可以查询任意多边形内的河流长度，进而计算它的河流密度等；如果线状图层为道路网，叠加的结果可以得到每个多边形内的道路网密度，内部的交通流量，进入、离开各个多边形的交通量，相邻多边形之间的相互交通量。

6.2.4 多边形叠加

多边形叠加是 GIS 最常用的功能之一。多边形叠加将两个或多个多边形图层进行叠加产生一个新多边形图层的操作，其结果将原来多边形要素分割成新要素，新要素综合了原来两层或多层的属性。



图层1

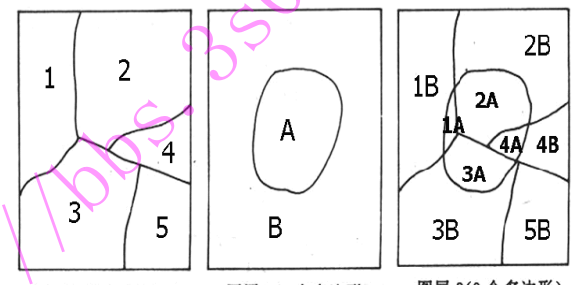
宗地ID	宗地号
45	京-99-01
46	京-99-02
47	京-99-03

图层2

土壤ID	稳定性
88	稳定
90	不稳定

叠加结果图层

ID	宗地ID	宗地号	土壤ID	稳定性
1	45	京-99-01	88	稳定
2	46	京-99-02	88	稳定
3	46	京-99-02	90	不稳定
4	-	-	90	不稳定
5	47	京-99-03	90	不稳定
6	47	京-99-03	88	稳定
7	-	-	88	稳定



图层 1(5 个多边形) 图层 2(2 个多边形) 图层 3(9 个多边形)

降雨量 土壤类型 适宜农作物

矢量图层叠加分析示意图

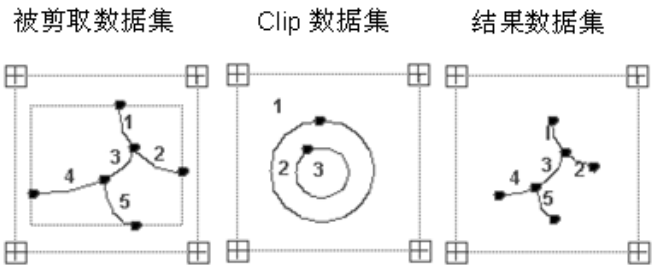
叠加过程可分为几何求交过程和属性分配过程两步。几何求交过程首先求出所有多边形边界线的交点，再根据这些交点重新进行多边形拓扑运算，对新生成的拓扑多边形图层的每个对象赋一多边形唯一标识码，同时生成一个与新多边形对象一一对应的属性表。

由于矢量结构的有限精度原因，几何对象不可能完全匹配，叠加结果可能会出现一些碎屑多边形（Silver Polygon），通常可以设定一模糊容限以消除它。

6.2.4.1 多边形叠加的类型

根据叠加结果最后欲保留空间特征的不同要求，一般的 GIS 软件都提供了 5 种类型的多边形叠加操作：

（1）Clip 运算

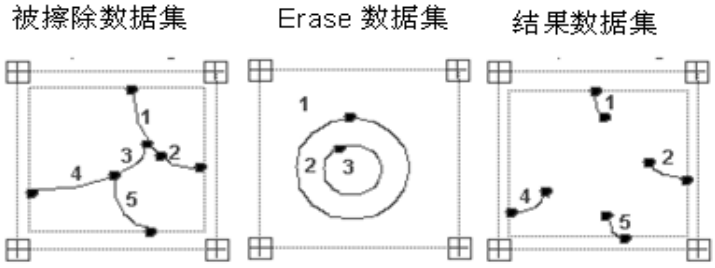


（2）Erase 运算

与 Clip 运算相反，Erase 运算保留了 Clip 运算去掉的特征(点、线和面)，而去掉了 Clip 运算保留的部分。Erase 运算的输出结果来自于被擦除的数据集的属性表，是其部分子集。

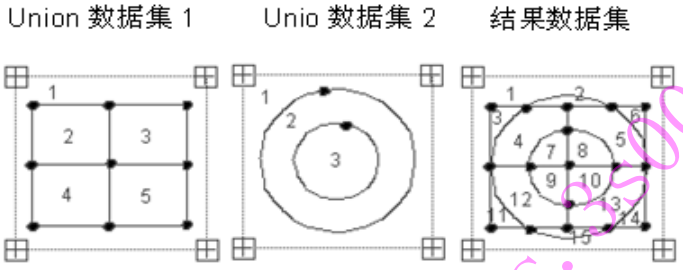
顶级地信论坛 http://bbs.3s001.com/

地信网论坛 BBS.35001.COM



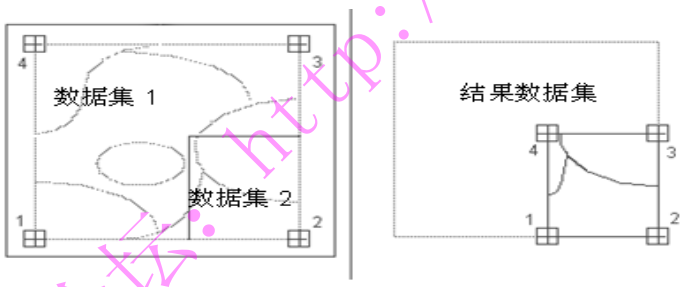
（3）Union 运算

Union 运算是求两个数据集的并集的操作，只限于两个面数据集之间。在操作时，两个面数据集内的所有多边形都被输出到数据集中，在相交的点处多边形将被分裂。



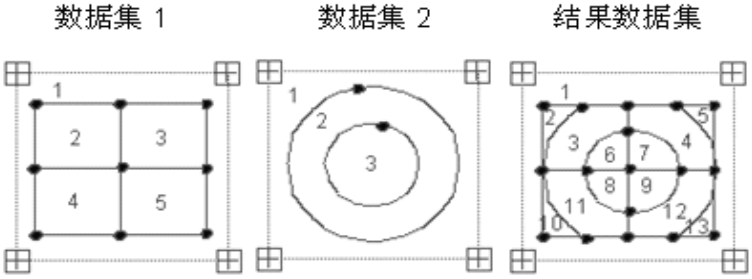
（4）Intersect 运算

Intersect 运算是求两个数据集的交集的操作，两个数据集中共同的部分将被输出到结果数据集中，其余部分将被排除。



（5）Identity 运算

Identity 运算类似于 Union 运算，要对两个数据集进行相交计算。不同之处在于，Union 运算保留了两个数据集的所有部分，而 Identity 运算只保留第一个数据集的所有部分，去掉第二个数据集(称为 Identity 数据集)中与第一个数据集没有重叠的部分。



6.2.4.2 栅格系统的叠加分析

在栅格系统中，层间叠加可通过像元之间的各种运算来实现。设 A，B，C 等表示第一、第二、第三等各层上同一坐标处的属性值，f 函数表示各层上属性与用户需要之间的关系，U 为叠置后属性输出层的属性值，则

$$U=f(A, B, C,\cdots\cdots)$$

顶级地信论坛：http://bbs.35001.com/

地信网论坛 BBS.3S001.COM

叠加操作的输出的结果可能是：

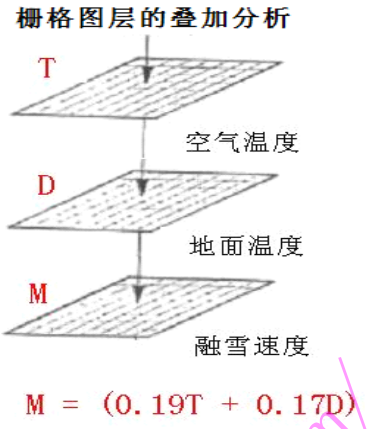
1、各层属性数据的平均值（算术平均或加权平均等）。

2、各层属性数据的最大值或最小值。

3、算术运算结果。

4、逻辑条件组合。

在各类地质综合分析中，栅格方式的叠置分析十分有用，很多种类的原始资料如化探资料、微磁资料等等，都是离散数据，容易转换成栅格数据，因而便于栅格方式的叠置分析。另外由于没有矢量叠加时产生细碎多边形的问题（这一点下面会详细解释），栅格方式的叠置产生的结果有时更为合理。



6.3 网络分析

地理网络（如交通网络）、城市基础设施网络（如各种网线、电力线、电话线、供排水管线等）进行地理分析和模型化，是地理信息系统中网络分析功能的主要目的。网络分析是运筹学模型中的一个基本模型，它的根本目的是研究、筹划一项网络工程如何安排，并使其运行效果最好，如一定资源的最佳分配，从一地到另一地的运输费用最低等。其基本思想则在于人类活动总是趋于按一定目标选择达到最佳效果的空间位置。

6.3.1 网络数据结构

链（Link）：网络中流动的管线，如街道、河流、水管等，其状态属性包括阻力和需求。

结点（Node）：网络中链的结点，如港口、车站、电站等，其状态属性包括阻力和需求等。结点中又有下面几种特殊的类型。

障碍（Barrier）：禁止网络中链上流动的点。

拐点（Turn）：出现在网络链中的分割结点上，状态属性有阻力，如拐弯的时间和限制。

中心（Center）：是接受或分配资源的位置，如水库、商业中心、电站等。

站点（Stop）：在路径选择中资源增减的结点。

6.3.2 最短路径分析

在最短路径选择中，两点之间的距离可以定义为实际的距离，也可定义为两点间的时间、运费、流量等，可定义为使用这条边所需付出的代价。因此，可以对不同的专题内容进行最短路径分析。

Dijkstra 算法

基本思想：把图的一了顶点分为 S,T 两类,若起始点 u 到某顶点 x 的最短通路已求出,则将 x 归入 S,其余归入 T,开始时 S 中只有 u,随着程序运行,T 的元素逐个转入 S, 直到目标顶点 v 转入后结束资源分配。

6.2.3 资源分配

资源分配网络模型由中心点（分配中心或收集中心）及其属性和网络组成。分配有两种形式，一种是由分配中心向四周分配，另一种是由四周向收集中心分配。资源分配的应用包括消防站点分布和求援区划分，学校选址、垃圾收集站点分布，停水停电对区域的社会、经济影响估计等。它包括负荷设计、时间和距离估算。

6.4 空间插值

6.4.1 空间插值的概念和理论

空间插值常用于将离散点的测量数据转换为连续的数据曲面，以便与其它空间现象的分布模式进行比较，它包括了空间内插和外推两种算法。空间内插算法是一种通过已知点的数据推求同一区域其它未知点数据的计算方法；空间外推算法则是通过已知区域的数据，推求其它区域数据的方法。

在以下几种情况下必须作空间插值：

（1）现有的离散曲面的分辨率，象元大小或方向与所要求的不符，需要重新插值；

（2）现有的连续曲面的数据模型与所需的数据模型不符，需要重新插值。栅格→TIN；

（3）现有的数据不能完全覆盖所要求的区域范围，需要插值。如将离散的采样点数据内插为连续的

资源地质论坛 http://bbs.3s001.com/

地信网论坛 BBS.3S001.COM

数据表面。

空间插值的理论假设是空间位置上越靠近的点，越可能具有相似的特征值；而距离越远的点，其特征值相似的可能性越小。但是分类不考虑不同类别测量值之间的空间联系，只考虑分类意义上的平均值或中值，为同类地物赋属性值。

6.4.2 空间插值的数据源

（1）摄影测量得到的正射航片或卫星影象；

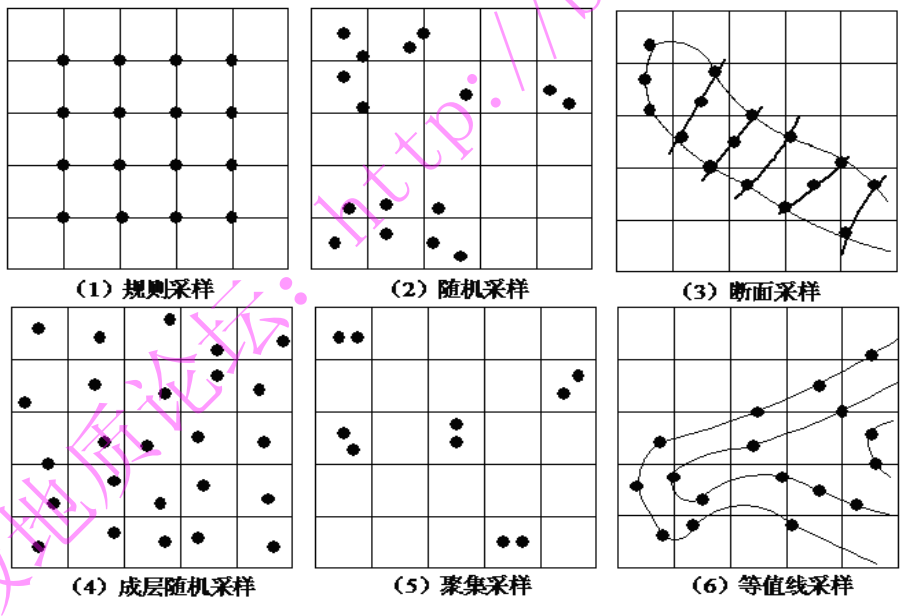
（2）卫星或航天飞机的扫描影像；

（3）野外测量采样数据，采样点随机分布或有规律的线性分布（沿剖面线或沿等高线）；

（4）数字化的多边形图、等值线图

空间插值的数据通常是复杂空间变化有限的采样点的测量数据，这些已知的测量数据称为“硬数据”。如果采样点数据比较少的情况下，可以根据已知的导致某种空间变化的自然过程或现象的信息机理，辅助进行空间插值，这种已知的信息机理，称为“软信息”。但通常情况下，由于不清楚这种自然过程机理，往往不得不对该问题的属性在空间的变化作一些假设，例如假设采样点之间的数据变化是平滑变化，并假设服从某种分布概率和统计稳定性关系。

采样点的空间位置对空间插值的结果影响很大，理想的情况是在研究区内均匀布点。然而当区域景观大量存在有规律的空间分布模式时，如有规律间隔的数或沟渠，用完全规则的采样网络则显然会得到片面的结果，正是这个原因，统计学家希望通过一些随机的采样来计算无偏的均值和方差。但是完全随机的采样同样存在缺陷，首先随机的采样点的分布位置是不相关的，而规则采样点的分布则只需要一个起点位置，方向和固定大小的间隔，尤其是在复杂的山地和林地里比较容易。其次完全随机采样，会导致采样点的分布不均，一些点的数据密集，另一些点的数据缺少。



顶级地质论坛：http://bbs.3s001.com/

6.4.3 空间插值方法

空间插值方法可以分为整体插值和局部插值方法两类。整体插值方法用研究区所有采样点的数据进行全区特征拟合；局部插值方法是仅仅用邻近的数据点来估计未知点的值。整体插值方法通常不直接用于空间插值，而是用来检测不同于总趋势的最大偏离部分，局部插值方法恰好能弥补整体插值方法的缺陷，可用于局部异常值，而且不受插值表面上其它点的内插值影响

6.5 空间统计分类分析

多变量统计分析主要用于数据分类和综合评价。数据分类方法是地理信息系统重要的组成部分。一般说 GIS 存储的数据具有原始性质，用户可以根据不同的实用目的，进行提取和分析，特别是对于观测和取样数据，随着采用分类和内插方法的不同，得到的结果有很大的差异。因此，在大多数情况下，首先是将大量未经分类的数据输入信息系统数据库，然后要求用户建立具体的分类算法，以获得所需要的信息。

地信网论坛 BBS.3S001.COM

综合评价模型是区划和规划的基础。从人类认识的角度来看有精确的和模糊的两种类型，因为绝大多数地理现象难以用精确的定量关系划分和表示，因此模糊的模型更为实用，结果也往往更接近实际。综合评价一般经过四个过程：

（1）评价因子的选择与简化；

（2）多因子重要性指标（权重）的确定；

（3）因子内各类别对评价目标的隶属度确定；

（4）选用某种方法进行多因子综合。

6.5.1 主成份分析

地理问题往往涉及大量相互关联的自然和社会要素，众多的要素常常给模型的构造带来很大困难，同时也增加了运算的复杂性。为使用户易于理解和解决现有存储容量不足的问题，有必要减少某些数据而保留最必要的信息。由于地理变量中许多变量通常都是相互关联的，就有可能按这些关联关系进行数学处理达到简化数据的目的。

主成分分析是通过数理统计分析，求得各要素间线性关系的实质上有意义的表达式，将众多要素的信息压缩表达为若干具有代表性的合成变量，这就克服了变量选择时的冗余和相关，然后选择信息最丰富的少数因子进行各种聚类分析，构造应用模型。

6.5.2 层次分析法

层次分析（Analytic Hierarchy Process,AHP）法是系统分析的数学工具之一，它把人的思维过程层次化、数量化，并用数学方法为分析、决策、预报或控制提供定量的依据。事实上这是一种定性和定量分析相结合的方法。在模型涉及大量相互关联、相互制约的复杂因素的情况下，各因素对问题的分析有着不同的重要性，决定它们对目标重要性的序列，对建立模型十分重要。

AHP 方法把相互关联的要素按隶属关系分为若干层次，请有经验的专家对各层次各因素的相对重要性给出定量指标，利用数学方法综合专家意见给出各层次各要素的相对重要性权值，作为综合分析的基础

6.5.3 系统聚类分析

系统聚类是根据多种地学要素对地理实体进行划分类别的方法，对不同的要素划分类别往往反映不同目标的等级序列，如土地分等定级、水土流失强度分级等。系统聚类的步骤一般是根据实体间的相似程度，逐步合并若干类别，其相似程度由距离或者相似系数定义。进行类别合并的准则是使得类间差异最大，而类内差异最小。

6.5.4 判别分析

判别分析与聚类分析同属分类问题，所不同的是，判别分析是预先根据理论与实践确定等级序列的因子标准，再将待分析的地理实体安排到序列的合理位置上的方法，对于诸如水土流失评价、土地适宜性评价等有一定理论根据的分类系统定级问题比较适用。判别分析依其判别类型的多少与方法的不同，可分为两类判别、多类判别和逐步判别等。

6.6 决策实例

例 1：道路拓宽改建过程中的拆迁指标计算

（1）明确分析的目的和标准

目的：计算由于道路拓宽而需拆迁的建筑物的面积和房产价值；

道路拓宽改建的标准是：

a)道路从原有的 20m 拓宽至 60m；

b)拓宽道路应尽量保持直线；

c)部分位于拆迁区内的 10 层以上的建筑不拆除。

（2）准备进行分析的数据

涉及两类信息：一类是现状道路图；另一类是分析区域内建筑物分布图及相关的信息；

（3）进行空间操作

a) 选择拟拓宽的道路，根据拓宽半径，建立道路的缓冲区。

b) 将此缓冲区与建筑物层数据进行拓扑叠加，产生一幅新图，此图包括所有部分或全部位于缓冲

地信论坛：http://bbs.3s001.com/

地信网论坛 BBS.3S001.COM

区内的建筑物信息。

（4）进行统计分析

a）对全部或部分位于拆迁区内的建筑物进行选择，凡部分落入拆迁区且楼层高于 10 层以上的建筑物，将其从选择组中去除，并对道路的拓宽边界进行局部调整。

b）对所有需拆迁的建筑物进行拆迁指标计算。

（5）将分析结果以地图或表格的形式打印输出。

例 2：辅助建筑项目选址

（1）建立分析的目的和标准

目的：确定一些具体的地块，作为一个轻度污染工厂的可能建设位置。

工厂选址的标准包括：

a）地块建设用地面积不小于 10000 平方米；

b）地块的地价不超过 1 万元/平方米；

c）地块周围不能有幼儿园、学校等公共设施，以免受到工厂生产的影响。

（2）从数据库中提取用于选址的数据

一类为全市所有地块信息的数据层；另一类为全市公共设施（包括幼儿园、学校）的分布图。

（3）进行特征提取和空间拓扑叠加

从地块图中提取满足条件 a)b)的地块，并与公共设施层数据进行叠加。

（4）进行邻域分析

对叠加结果进行邻域分析和特征提取，去掉周围有幼儿园、学校等公共设施的地块，选择满足要求的地块。

（5）将选择的地块及相关信息以地图和表格的形式打印输出。

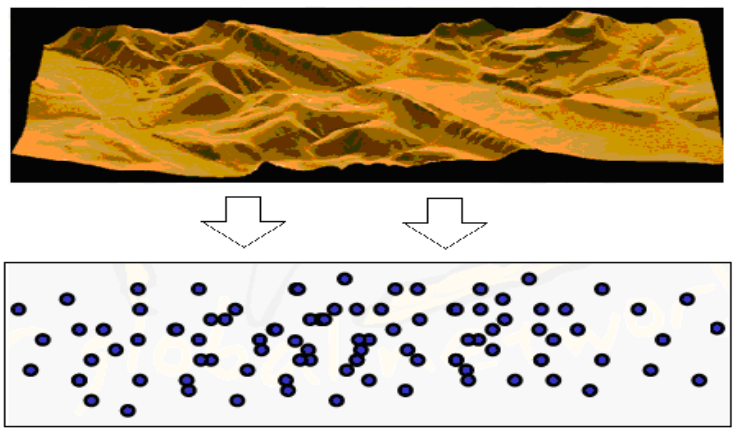
第七章　数字高程模型

1 DTM 和 DEM

1.1 DEM 的含义：

DEM，（Digital Elevation Models），数字高程模型是国家基础空间数据的重要组成部分，它表示地表区域上地形的三维向量的有限序列，即地表单元上高程的集合，数学表达为：z＝f（x，y），地面任一点可以由三维的坐标对表示（x, y, z)。

DTM ,（Digital Terrain Models）：数字地形模型是建立不同层次的资源与环境系统不可缺少的组成部分。z 为其他三维表面上连续变化的地理特征，如地面温度、降雨、地球磁力、重力、土地利用、土壤类型等其他地面特征。

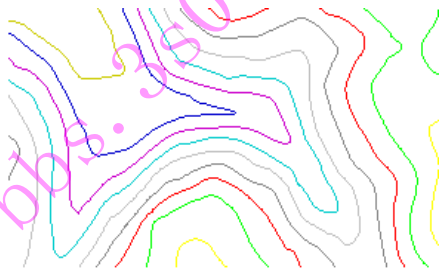


1.2 DEM 的表示法：

顶级地质论坛：http://bbs.3s001.com/



1.2.1 等高线法

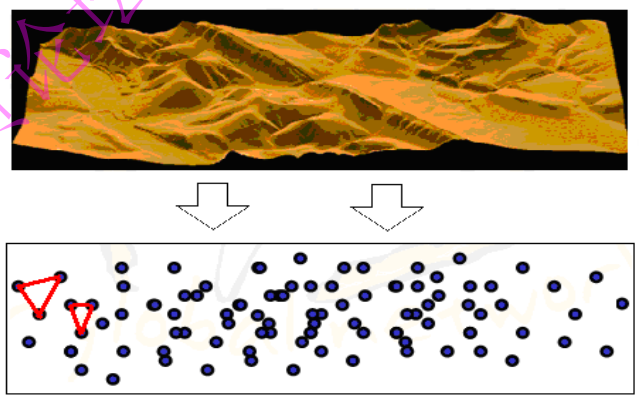


等高线通常被存储成一个有序的坐标点序列，可以认为是一条带有高程值属性的简单多边形或多边形弧段。由于等高线模型只是表达了区域的部分高程值，往往需要一种插值方法来计算落在等高线以外的其他点的高程，又因为这些点是落在两条等高线包围的区域内，所以，通常只要使用外包的两条等高线的高程进行插值。

1.2.2 TIN 法

TIN（Triangulated Irregular Network)表示法利用所有采样点取得的离散数据，按照优化组合的原则，把这些离散点（各三角形的顶点）连接成相互连续的三角面（在连接时，尽可能地确保每个三角形都是锐角三角形或是三边的长度近似相等）。

因为 TIN 可根据地形的复杂程度来确定采样点的密度和位置，能充分表示地形特征点和线，从而减少了地形较平坦地区的数据冗余。



1.2.3 规则格网法(Grid)

规则格网法是把 DEM 表示成高程矩阵，此时，DEM 来源于直接规则矩形格网采样点或由不规则离散数据点内插产生。结构简单，计算机对矩阵的处理比较方便，高程矩阵已成为 DEM 最通用的形式。高程矩阵特别有利于各种应用。

但 Grid 系统也有下列缺点：

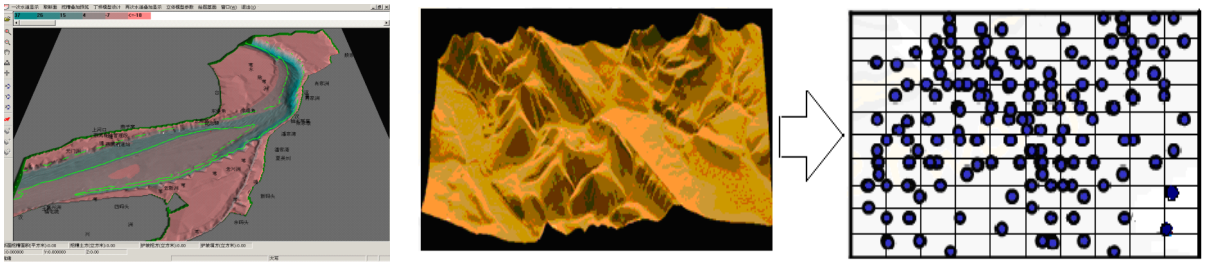
a) 地形简单的地区存在大量冗余数据；

b) 如不改变格网大小,则无法适用于起伏程度不同的地区；

c) 对于某些特殊计算如视线计算时，格网的轴线方向被夸大；

顶级地质论坛：http://bbs.35001.com/

d) 由于栅格过于粗略，不能精确表示地形的关键特征,如山峰、洼坑、山脊等；



1.3 DEM 特点

与传统地形图比较，DEM 作为地形表面的一种数字表达形式有如下特点：

（1）容易以多种形式显示地形信息。地形数据经过计算机软件处理过后，产生多种比例尺的地形图、纵横断面图和立体图。而常规地形图一经制作完成后，比例尺不容易改变或需要人工处理。

（2）精度不会损失。常规地图随着时间的推移，图纸将会变形，失掉原有的精度。而 DEM 采用数字媒介，因而能保持精度不变。另外，由常规的地图用人工的方法制作其他种类的地图，精度会受到损失，而由 DEM 直接输出，精度可得到控制。

（3）容易实现自动化、实时化。常规地图要增加和修改都必须重复相同的工序，劳动强度大而且周期长，而 DEM 由于是数字形式的，所以增加和修改地形信息只需将修改信息直接输入计算机，经软件处理后即可得各种地形图。

1.4 DEM 应用

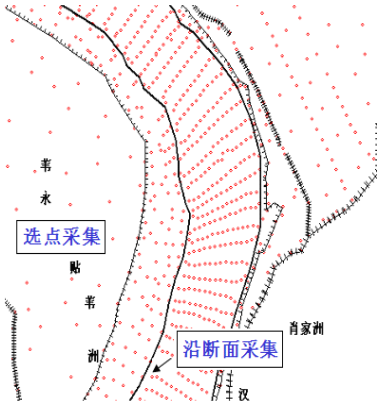
1）作为国家地理信息的基础数据；
2）土木工程、景观建筑与矿山工程规划与设计；
3）为军事目的而进行的三维显示；
4）景观设计与城市规划；
5）流水线分析、可视性分析；
6）交通路线的规划与大坝选址；
7）不同地表的统计分析与比较；
8）生成坡度图、坡向图、剖面图、辅助地貌分析、估计侵蚀和径流等；
9）作为背景叠加各种专题信息如土壤、土地利用及植被覆盖数据等，以进行显示与分析；
10）与 GIS 联合进行空间分析；
11）虚拟现实(Virtual Reality)；

此外，从 DEM 还能派生以下主要产品：平面等高线图、立体等高线图、等坡度图、晕渲图、通视图、纵横断面图、三维立体透视图、三维立体彩色图等。

2 DEM 建立

2.1 数据获取与处理

1）数据采集



地信网论坛 BBS.35001.COM
http://bbs.35001.com/

地信网论坛 BBS.3S001.COM

建立 DEM，首先必须量测一些点的三维坐标，这就是 DEM 数据采集或 DEM 数据获取，这些具有三维坐标的点称为数据点或参考点。

数据采集是 DEM 的关键问题，数据的采集密度和采点的选择决定 DEM 的精度。

数据采集按采集的方式可以分为选点采集、随机采集、沿等高线采集、沿断面采集等；按数据的来源可分为地形图数字化采集、航空相片采集、地面测量采集、机载测高仪采集等；按数据采集的方法可分为人工、半自动和自动采集等。

2) 数据处理

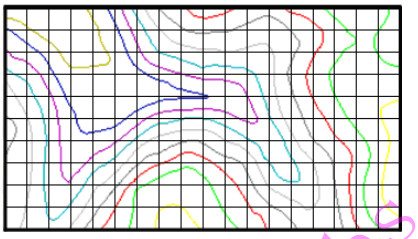
用各种方法采集到的数据需要经过必要的数据处理才能提供应用。数据处理是以数据点作为控制基础，用某一数学模型来模拟地表面，进行内插加密计算，确定三角网或格网节点处的特征。

数据处理的方法：格式转换、坐标系变换、数据编辑、数据分块、数据内插等。

2.2 DEM 生成

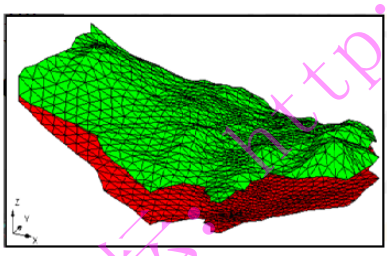
1）人工网格法

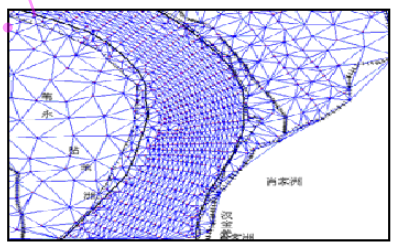
在地形图上蒙上格网，逐格读取中心点或交点的高程值。



2）三角网法

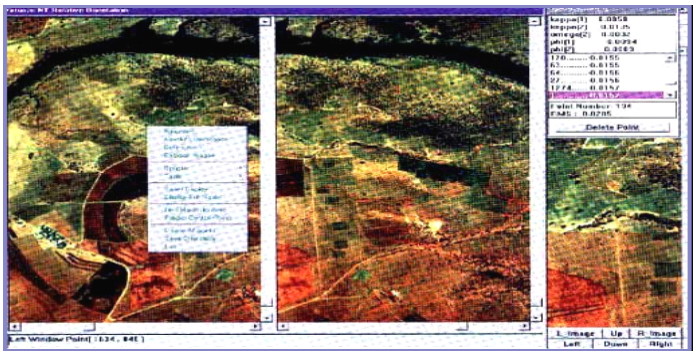
对有限个离散点，每三个邻近点联结成三角形，每个三角形代表一个局部平面，再根据每个平面方程，可计算各格网点高程，生成 DEM。





3）立体像对法

通过遥感立体影像对，根据视察模型，自动选配左右影像的同名点，建立数字高程模型，在产生 DEM 数据时，地形变化复杂的地区，增加格网数量（提高分辨率），而在地形起伏不大的地区，则减少网格数量（降低分辨率）。立体像对分析要求有立体像对影像和特殊的软件，且运算时间较长，技术条件特殊。如图，利用全数字摄影测量系统 Virtuozo 中的影像匹配模块（V-Matching）进行立体像对分析，可生成 TEM。



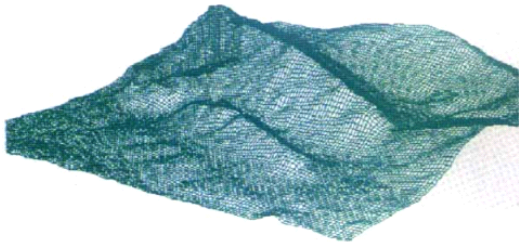
4）曲面拟合法

根据有限个离散点的高程，采用多项式或样条函数求得拟合公式，再逐个计算各点的高程，得到拟合的 DEM。可反映总的地势，但局部误差较大。

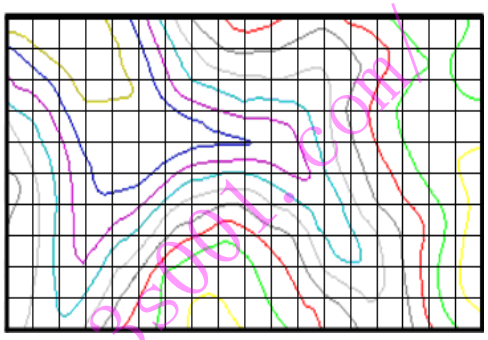
顶级地质论坛 http://bbs.3s001.com/

地信网论坛 BBS.3S001.COM

可分为：整体拟合：根据研究区域内所有采样点的观测值建立趋势面模型。特点是不能反映内插区域内的局部特征。局部拟合：利用邻近的数据点估计未知点的值，能反映局部特征。



5）等值线插值法



内插是根据参考点上的高程求出其它待定点上的高程，在数学上属于差值问题，由于所采集的原始数据排列一般不是规则的，为了获取规则网格的 DEM，内插是必不可少的步骤。

等值线插值法是比较常用的 DEM 生成方法，它根据各局部等值线上的高程点，通过插值公式计算各点的高程，得到 DEM。输入等值线后，可在矢量格式的等值线数据基础上进行，插值效果较好。

DEM 内插有多种算法，常用的有距离加权法、移动拟合法、双线性多项式内插、样条函数内插、最小二乘配置法、有限元法以及分形插值法等。不同的内插法得到的 DEM 的精度不同。

3 DEM 的应用

3.1 基于 DEM 的信息提取

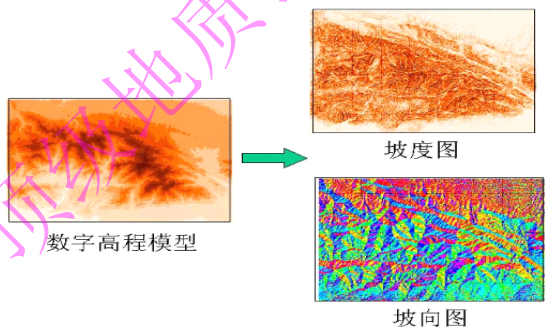
（1）坡度

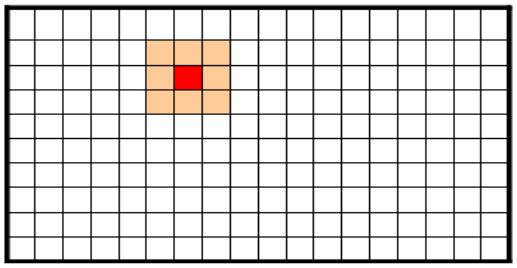
定义为地表单元的法向与 Z 轴的夹角，即切平面与水平面的夹角。在计算出各地表单元的坡度后，可对不同的坡度设定不同的灰度级，可得到坡度图。

（2）坡向

坡向是地表单元的法向量在水平面上的投影与 X 轴之间的夹角，在计算出每个地表单元的坡向后，可制作坡向图，通常把坡向分为东、南、西、北、东北、西北、东南、西南 8 类，再加上平地，共 9 类，用不同的色彩显示，即可得到坡向图。

Grid DEM 上制作坡度、坡向图：





通常用 3*3 的格网窗口在 DEM 数据矩阵中连续移动计算完成。

（3）地表粗造度（破碎度）

是反映地表的起伏变化和侵蚀程度的指标，一般定义为地表单元的曲面面积与其水平面上的投影面积之比。

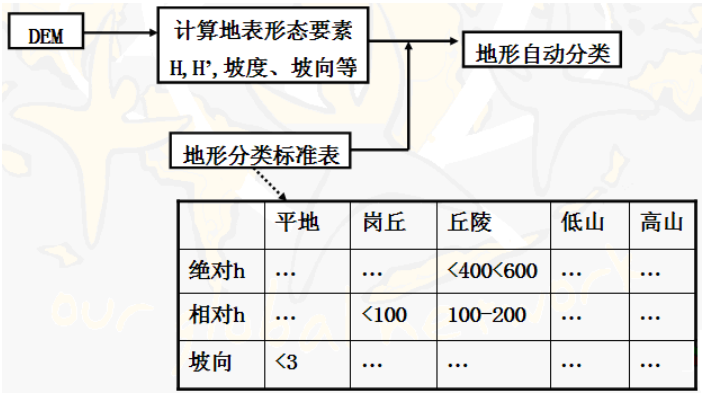
（4）高程变异分析

包括平均高程、相对高程、高程标准差，高程变异。

高程变异：为格网顶点的高程标准差与平均高程的比值。

（5）地貌形态的自动分

质资地质论坛 http://bbs.3s001.com/



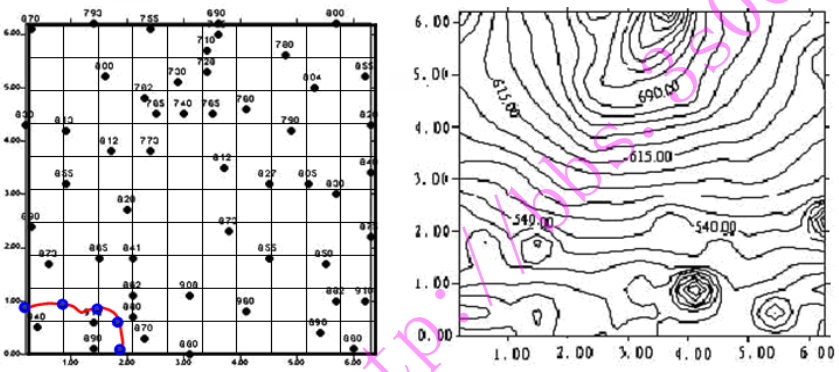
	平地	岗丘	丘陵	低山	高山
绝对h	…	…	<400<600	…	…
相对h	…	<100	100-200	…	…
坡向	<3	…	…	…	…

3.2 等高线的绘制

在格网 DEM 上自动绘制等高线主要包括两个步骤：

（1）等高线追踪，利用 DEM 矩形格网点的高程内插出格网边上的等高线点，并将这些等高线点排序；

（2）等高线光滑，进一步加密等高线点并绘制光滑曲线。



3.3 基于 DEM 的可视化分析

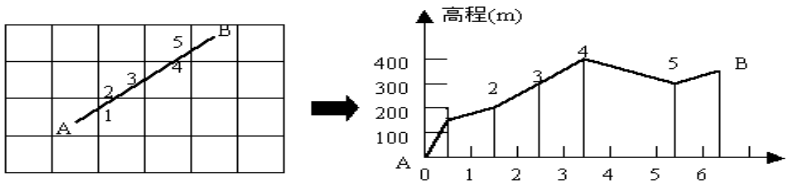
3.3.1 剖面分析

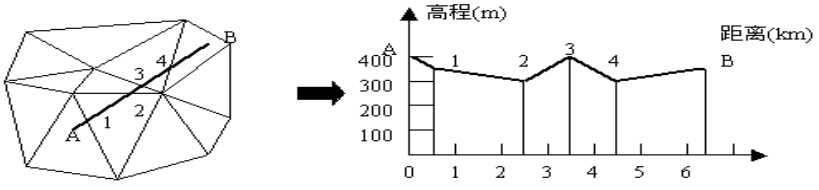
1）意义：

常常可以以线代面，研究区域的地貌形态、轮廓形状、地势变化、地质构造、斜坡特征、地表切割强度等。如果在地形剖面上叠加其它地理变量，例如坡度、土壤、植被、土地利用现状等，可以提供土地利用规划、工程选线和选址等的决策依据。

2）绘制

可在格网 DEM 或三角网 DEM 上进行。已知两点的坐标 A(x1，y1)，B(x2，y2)，则可求出两点连线与格网或三角网的交点，并内插交点上的高程，以及各交点之间的距离。然后按选定的垂直比例尺和水平比例尺，按距离和高程绘出剖面图。剖面图不一定必须沿直线绘制，也可沿一条曲线绘制。





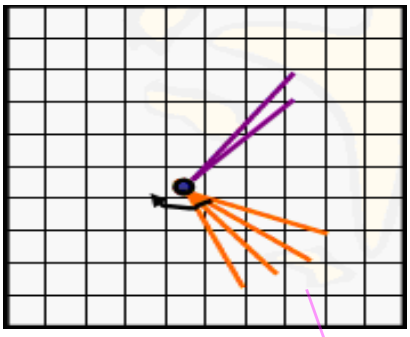
3.3.2 通视分析

顶级地质论坛：http://bbs.35001.com/

地信网论坛 BBS.3S001.COM

通视分析是指以某一点为观察点，研究某一区域通视情况的地形分析。

1） 方法：



a、以 O 为观察点，对格网 DEM 或三角网 DEM 上的每个点判断通视与否，通视赋值为 1，不通视赋值为 0。由此可形成属性值为 0 和 1 的格网或三角网。对此以 0.5 为值追踪等值线，即得到以 O 为观察点的通视图。

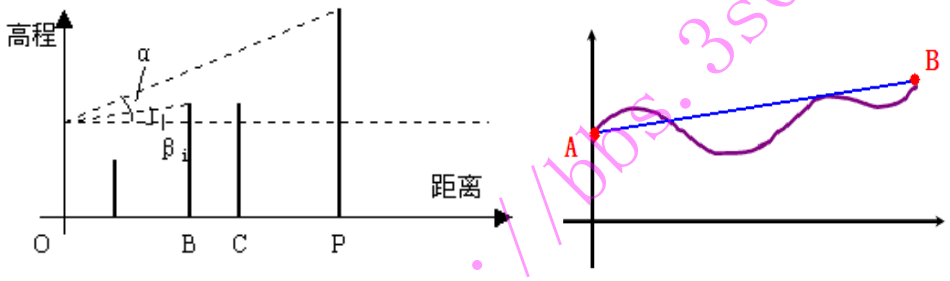
b、以观察点 O 为轴，以一定的方位角间隔算出 0°～360°的所有方位线上的通视情况。对于每条方位线，通视的地方绘线，不通视的地方断开，或相反。这样可得出射线状的通视图。

2）关键算法

均是判断格网或三角网上的某一点是否通视，即两点是否可见。两点是否可见的算法：

a）倾角法

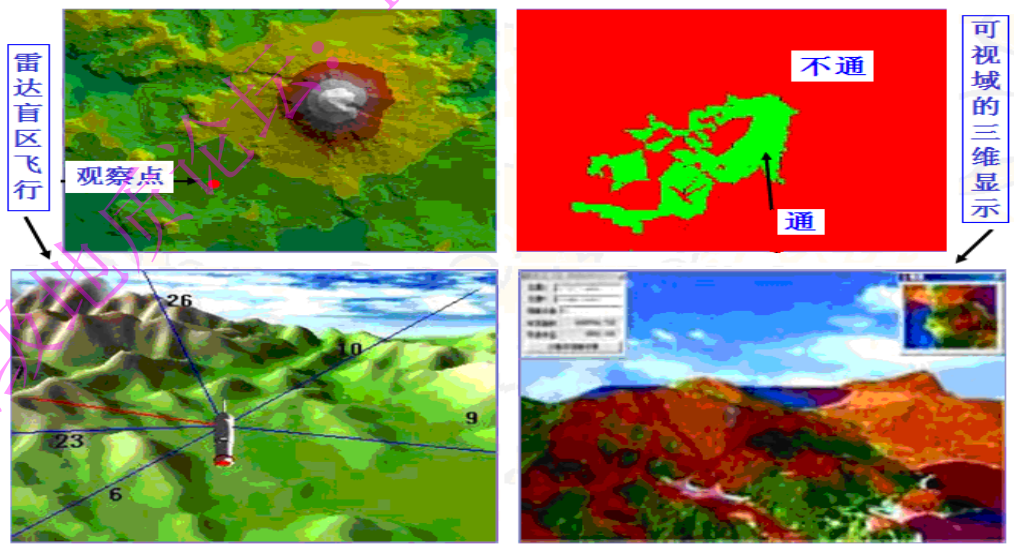
格网 DEM 为例，O(xo，yo，zo)为观察点，P(xp,yp,zp)为某一格网点，OP 与格网的交点为 A、B、C。OP 的倾角为 α，观察点与各交点的倾角为 β_i(i＝A,B,C)。若 tgα＞max(tgβi，i＝A、B、C)，则 OP 通视；否则，不通视。（下面左图）



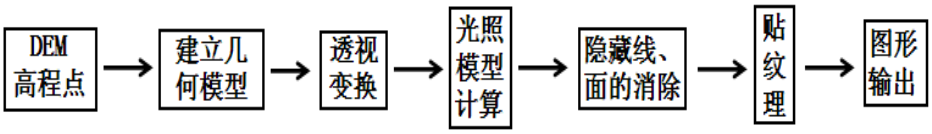
b) 剖面图

两点连线是否与剖面相交。（上面右图）

3）通视分析示例



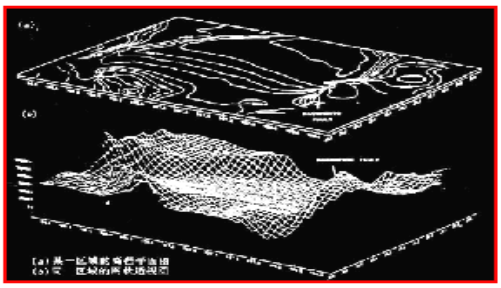
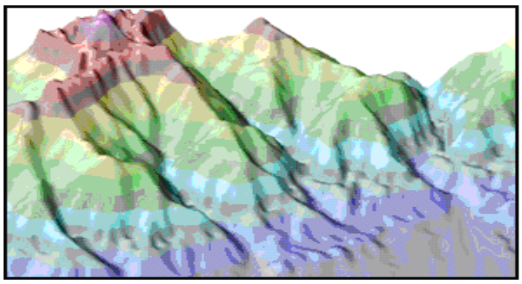
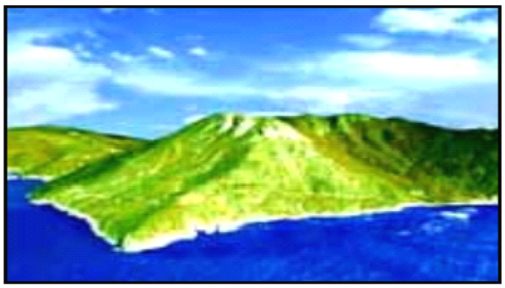
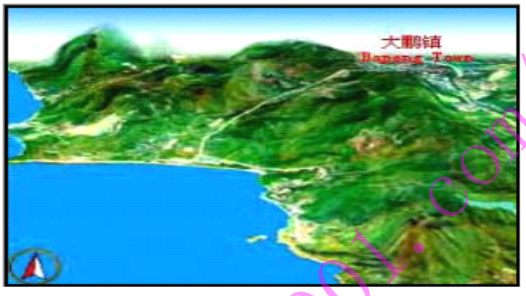
3.3.3 地形三维图绘制



开放式图形标准库（OpenGL）。

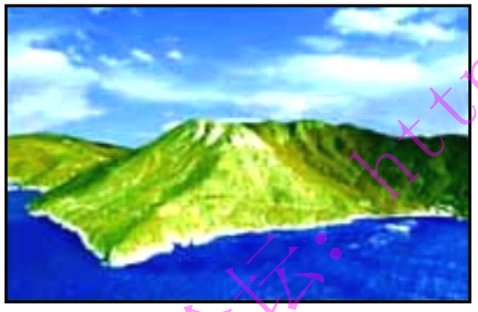
顶级地质论坛 http://bbs.3s001.com/

地信网论坛 BBS.35001.COM

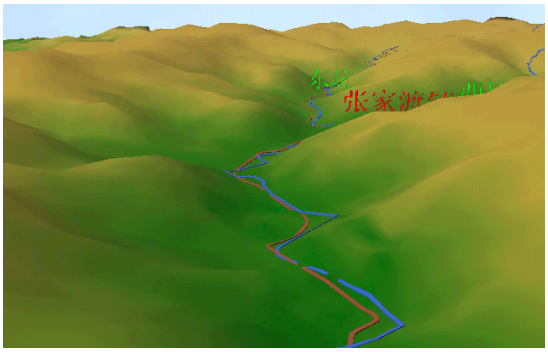
3.3.4 地貌晕渲图绘制

地貌晕渲法即阴影立体法，它可以增加丘陵和山地地区描述高差起伏的视觉效果。自动晕渲的原理是基于“地面在人们眼里看到的是什么样子、用何种理想的材料来制作、以什么方向为光源照明”等模式。自动地貌晕渲图的计算首先是根据 DEM 计算坡度和坡向，然后将坡向数据与光源方向比较，而向光源的斜坡得到浅色调值，反方向的斜坡得到深色调灰值，介于中间坡向得到中间灰值。灰值的大小按坡度进一步确定。




3.3.5 模拟飞行

DEM 图像通过与 TM 图像中 7 个不同波段进行叠加，生成真彩色或假彩色三维地形模型（DTM），在此基础上进行飞行模拟。在飞行模拟环境中，可以根据观察的需要，对地面显示速度、方位、观察位置、高程和透视角度等进行交互控制，完全达到身临其境的效果。同时，它能将大范围、广视角和小范围、高精度有机的结合起来进行显示，可以从不同的高度、方位由远及近的观察大洋山的总体及部分特征。

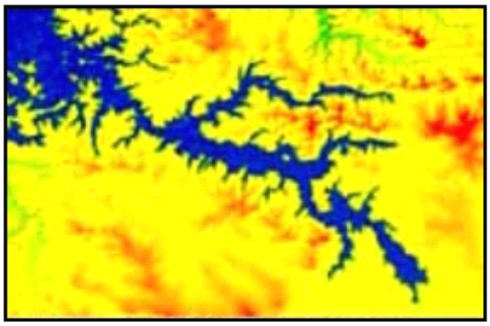
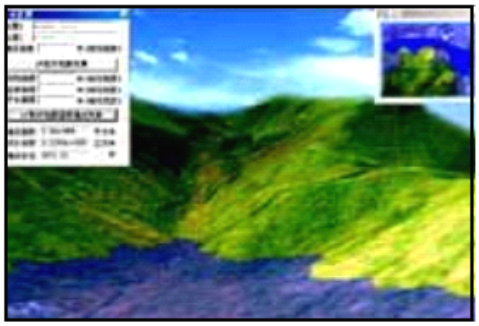
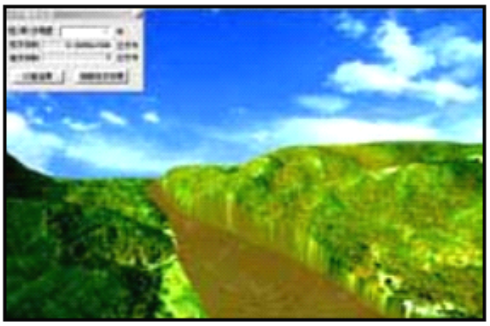
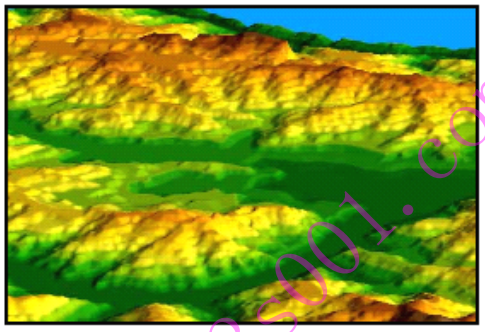


3.3.6 流域水文特征及土木工程

用于工程项目中的开挖填方、线路勘测设计、水利建设工程等。

顶级地质论坛：http://bbs.35001.com/

地信网论
BBS.35001.COM

水淹示例　三维规划设计

顶级地质论坛：http://bbs.35001.com/