

大型机场中三维地理 信息系统技术的应用

Application of Large Airports in The Three-dimensional
Geographic Information System Technology

陈云波 李国柱
周 立 裴 旭 编著
洪 涛 袁伟韬

云南大学出版社
Yunnan University Press

大型机场中三维地理 信息系统技术的应用

Application of Large Airports in The Three-dimensional
Geographic Information System Technology

陈云波 李国柱
周 立 裴 旭 编著
洪 涛 袁伟韬

云南大学出版社
Yunnan University Press

图书在版编目(CIP)数据

大型机场中三维地理信息系统技术的应用 / 陈云波等编著.
—昆明: 云南大学出版社, 2013
ISBN 978-7-5482-1817-3

I. ①大… II. ①陈… III. ①地理信息系统—应用—
机场—研究 IV. ①V35-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第303172号

策划编辑: 张丽华
责任编辑: 张丽华
装帧设计: 刘 雨

大型机场中三维地理 信息系统技术的应用

Application of Large Airports in The Three-dimensional
Geographic Information System Technology

陈云波 李国柱 周 立 裴 旭 洪 涛 袁伟韬 编著

出版发行: 云南大学出版社

印 装: 云南大学出版社印刷厂

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 12

字 数: 320千

版 次: 2013年12月第1版

印 次: 2013年12月第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-5482-1817-3

定 价: 36.00元

社 址: 昆明市翠湖北路2号云南大学英华园内

邮 编: 650091

电 话: (0871) 5031071 5033244

E-mail: market@ynup.com

目 录

第1章 地理信息系统	(1)
1.1 地理信息系统概述	(1)
1.1.1 地理信息系统 (GIS) 的概念	(1)
1.1.2 地理信息系统的发展趋势	(2)
1.2 地理信息系统的功能及应用	(5)
1.2.1 地理信息系统的功能	(5)
1.2.2 地理信息系统的主要应用	(7)
第2章 三维 GIS 概述及发展状况	(9)
2.1 地理系统的历史及现状	(9)
2.2 从二维 GIS 到三维 GIS 的转变	(10)
2.3 三维 GIS 的定义、特点及功能	(11)
2.3.1 三维 GIS 的定义	(11)
2.3.2 三维 GIS 的特点	(11)
2.3.3 三维 GIS 的功能	(12)
2.4 三维 GIS 发展面临的有利因素与困难	(12)
2.4.1 三维 GIS 当前面临的有利因素	(12)
2.4.2 三维 GIS 当前面临的困难	(13)
2.5 当前三维 GIS 研发的几个注意点	(15)
2.6 三维 GIS 应用领域	(15)
2.7 三维主流 GIS 国内外软件对比	(17)
2.7.1 国外三维 GIS 主流软件	(17)
2.7.2 国产三维 GIS 主流软件	(18)
2.8 总 结	(22)
第3章 机场三维可视化相关理论	(24)
3.1 科学计算可视化概述	(24)
3.1.1 科学计算可视化的含义	(24)
3.1.2 科学计算可视化的现状及意义	(25)
3.1.3 科学计算可视化的应用领域	(27)
3.1.4 科学计算可视化的研究内容	(29)
3.2 数据类型及组织	(30)
3.2.1 数据类型	(30)
3.2.2 地下管线的类型	(33)
3.2.3 平面管线数据组织	(33)

第1章 地理信息系统

中国民航在改革开放中迅猛发展,以中国、新加坡、日本为代表的亚洲航空运输业在世界民航中占据着举足轻重的地位,中国民航正力争在21世纪头20年实现由航空大国向航空强国跨越的目标。在国民经济高速发展的今天,航空运输成了最迫切需要的交通工具。机场建设也成为衡量地方经济状况和发展潜力的重要指标。在机场建设工程中,如机场选址、机场工程地质勘察、地下管线管理和生态环境等因素评价中,是否采用科学的管理方法将直接影响机场建设的进展和经费投入。随着“3S”技术的蓬勃发展,在现代信息技术发展的推动下,三维地理信息系统(3D Geographic Information System, 3D GIS)应运而生,它使机场海量数据的科学管理、有效信息的提取、辅助机场紧急情况的决策分析等成为可能。

三维地理信息系统的基础和发展前身是地理信息系统(GIS),因此要掌握3D GIS技术,首先必须了解GIS的相关知识。

1.1 地理信息系统概述

地理信息系统(Geographic Information System, GIS)是信息系统的一种,它以表征地球表层空间地理现象和事物的地理空间数据和信息为特定的运作对象。它已经过40余年的发展,目前发展成一门与人类社会生活紧密相关的信息科学与技术,能够满足城市建设、企业管理、居民生活等对空间信息的需求,已受到人们越来越多的重视。它综合了计算机制图、计算机辅助设计、数据库管理系统、遥感图像处理技术等学科。GIS处理和管理的对象是多种地理空间实体数据以及它们之间的关系,包括空间定位数据、图形数据、遥感图像数据、属性数据等。这些数据用于分析和处理在一定地理区域分布的各种现象和过程,解决复杂的规划、决策和管理问题。

1.1.1 地理信息系统(GIS)的概念

GIS是计算机科学、地理学、测量学、地图学等多门学科综合的技术。它属于一门多学科综合的交叉学科,以计算机技术为核心,以数据库和地图可视化及空间分析技术为基础(如图1-1所示),因此,我们可以给出一个总体的定义:GIS是处理地理数据的输入、输出、管理、查询、分析模拟和显示,并采用地理模型分析方法,提供多种空间和动态的地理信息,为地理研究、综合评价、管理和辅助决策服务而建立起来的计算机应用系统。简而言之,地理信息系统是以计算机为工具,具有地理图形和空间定位功能的空间型数据管理系统。

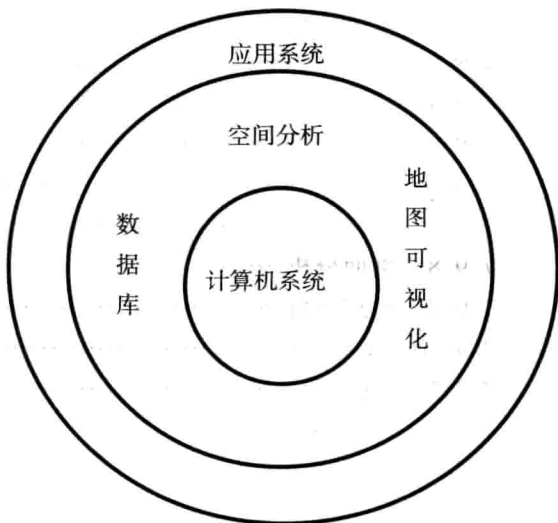


图 1-1 地理信息系统的组成

地理信息系统将地理对象和相关属性结合起来, 可以实现对空间数据按地理坐标和空间位置进行各种处理和有效管理, 研究各种空间实体及相互间拓扑关系; 通过对多因素的综合分析, 可以迅速地获取应用需要的信息, 并能以地图、图形或数据的方式表达处理结果; 同时, 借助其空间分析能力和可视化表达, 还可以进行各种辅助决策。

1.1.2 地理信息系统的发展趋势

20 世纪 90 年代以来, 计算机技术、空间技术、测绘技术、多媒体技术、数据仓库及光纤通信等技术均取得了突破性进展, 特别是卫星互联网的建立, 遥感卫星的大量发射, 这些都为 GIS 技术的广泛、深入应用展示了更加光明的前景。近年来 GIS 发展趋势表现在:

- 从技术角度看, GIS 正朝着分布式、开放式、网络化方向发展。其中开放式 GIS、多媒体 GIS、多维 GIS、基于构件的 GIS 和网络 GIS 已经成为 GIS 发展的热点;

- 从标准化角度看, 标准的研制已经从数据标准、交换标准向共享标准和服务标准转变;

- 从应用角度看, GIS 已经由最初的局限于专业应用向社会化应用扩展。

(1) 开放式地理信息系统 (Open GIS)

开放式地理信息系统 (Open GIS) 是指在计算机和通信环境下, 根据行业标准和接口所建立起来的地理信息系统。它能实现在异构环境下多个地理信息系统或其应用系统之间动态地相互调用, 并且不同数据集之间有一个稳定的接口, 遵守统一的标准。

在研究和开发 Open GIS 方面, 美国成立了可开放地理信息联合会 (Open GIS Consortium, OGC), 主要研究和建立了开放式地理数据交互操作规程 OGIS (Open Geodata Interoperable Specification)。OGIS 是为了寻找一种方式, 将地理信息系统技术、分布处理技术、面向对象方法、数据库设计及实时信息获取方法更有效地结合起来。基于 OGIS 规范制订的开放系统模型是一种软件工程和系统设计方法, 这种方法应用于 GIS 领域, 侧重于改变当前 GIS 模型中特定的应用系统及其功能与它内部数据模型及数据格式紧密捆绑的现状。OGIS 只是对 Open GIS 定义了抽象的互操作规程, 具体如何实现, 还需采用分布式对象的技术, 通过 Java、OLE、ActiveX 等语言实现。

Open GIS 提供了使不同的地理信息系统软件之间具有良好的互操作性, 以及在异构分布数据库中实现信息共享的途径。Open GIS 具有下列特点:

- ①互操作性: 不同地理信息系统软件之间连接、信息交换没有障碍。

- ②可扩展性: 硬件方面可在不同软件、不同档次的计算机上运行, 软件方面增加新的地学空间数据和地学数据处理功能。

- ③技术公开性: 开放思想主要是对用户公开, 公开源代码及规范说明是重要的途径之一。

- ④可移植性: 独立于软件、硬件及网络环境, 不需修改便可在不同的计算机上运行。

Open GIS 将使 GIS 始终处于一种有组织、开放式的状态, 真正成为服务于整个社会的产业以及实现地理信息的全球范围内的共享与互操作, 是未来网络环境下 GIS 技术发展的必然趋势。

(2) 多媒体 GIS

多媒体技术是将文字、图像、动画、视频、音频等数字资源通过编程方法整合在一个交互式的整体中, 再以单独或合成形式表现出来的一体化技术。应用多媒体技术可以使得 GIS 的表现形式更丰富、更灵活、更友好。它为 GIS 应用开拓了新的领域和广阔的前景, 同时也

为社会建设、文化发展、决策管理和规划等提供了直观、高效的信息服务。因此多媒体技术在 GIS 领域的深入应用也是一个必然趋势。

(3) 基于构建技术的地理信息系统 (COM GIS)

当前计算机软件控件技术 (ActiveX 控件, 其前身 OLE 控件) 为 GIS 软件提供一种新的开发模式。GIS 组件化发展到了一个全新的阶段, 出现了组件式 GIS (Component GIS, COM GIS)。所谓 COM GIS, 是指基于组件对象平台, 以一组具有某种标准通信接口的、允许跨语言应用的组件提供的 GIS。这种组件称为 GIS 组件, GIS 组件之间以及 GIS 组件与其他组件之间可以通过标准的通信接口实现交互, 这种交互甚至可以跨计算机实现。构件间的接口通过一种与平台无关的接口定义语 IDL 进行定义, 使用者可以直接调用执行模块来获得对象提供的服务。基于构件技术的 GIS 将功能模块划分为多个控件, 每个控件完成不同的功能, 通过可视化的软件开发工具集成起来, 形成最终的 GIS 应用。其特征主要体现在:

①高效无缝的系统集成, 允许将专业模型、GIS 控件、其他控件紧密地结合在统一的界面下。

②无须专门的 GIS 开发语言, 只要掌握基于 Windows 开发的通用环境, 以及组件式 GIS 各控件的属性、方法和事件, 就能完成应用系统的开发。

③大众化的 GIS 用户可以像使用其他 ActiveX 控件一样使用 GIS 的控件, 使非专业的 GIS 用户也能胜任 GIS 应用开发工作。

④开发成本低, 非 GIS 功能可以利用非专业控件, 降低了系统的成本。

目前, 国际上大多数 GIS 软件公司开始把开发 COM GIS 软件作为重要的发展战略, 如 MapInfo 公司的 MapX, ESRI 公司的 Map Objects 等。组件式平台主要有 Microsoft 的 COM (Component Object Model, 组件对象模型)、DCOM (Distributed Component Object Model, 分布式组件对象模型) 和 OMG 的 CORBA (Common Object Request Broker Architecture, 公共对象请求代理体系结构) 等。组件式 GIS 基于标准的组件式平台, 各组件之间不仅可以自由、灵活地重组, 而且具有可视化的界面和方便的标准接口。因此, 国际上大多数 GIS 软件公司开始把开发 COM GIS 软件作为重要的发展战略, COM GIS 是当今 GIS 发展的重要趋势。

(4) 互联网地理信息系统 (WebGIS)

Internet 的迅速发展和在全球范围内的普及对 GIS 的发展提出了新的挑战, 建立万维网 GIS 是近年来 GIS 研究领域的一个前沿课题, WebGIS 已经成为 GIS 应用的主流。几乎在开发组件式 GIS 的同时, 出现了互联网地理信息系统 (World Wide WebGIS, 简称 WebGIS)。WebGIS 是基于浏览器/服务器模式, 客户端只需通过通用的浏览器实行系统操作就能方便地获取所需信息, 获得 WebGIS 服务器提供的空间数据、制作专题图, 以及进行各种空间检索和空间分析等服务。当前, 构建由多个 GIS 构成的信息系统体系, 实现相互之间的资源 (包括数据、软件、硬件和网络) 共享、互操作和协同计算, 成为 GIS 应用发展需要解决的关键技术问题。这要求将 GIS 复杂数据分析与处理功能移到 GIS 应用服务器上, 通过多种类型的客户端 (如 PC、移动终端) 调用服务器端的功能, 实现传统 C/S (客户/服务器) 结构 GIS 所具有的功能, 通过 GIS 应用服务器之间的互操作和协同计算, 构建空间信息网络, 使客户端与服务器端的数据量传输减少到最少程度, 为在互联网上实现复杂、大规模的地理信息服务提供了可能。与传统的 GIS 相比, WebGIS 具有以下特点:

①适应性强。WebGIS 是基于互联网的, 因而是全球或区域性的, 能够在不同的平台运行。

②应用面广。网络功能将使 WebGIS 应用到整个社会, 真正实现 GIS 的无所不能、无处不在。

③现势性强。地理信息在网上的实时更新使人们能得到最新信息和最新动态。

④维护社会化。数据的采集、输入、空间信息的分析与发布将是在社会协调下运作, 可采用社会化方式对其维护以减少重复劳动。

⑤使用简单。用户可以直接从网上获取所需要的各种地理信息, 方便地进行信息分析, 而不用关心空间数据库的维护和管理。网络 GIS 可实现网上发布、浏览、下载, 实现基于 Web 的 GIS 查询和分析。

一些公司已经推出了 WebGIS 产品, 比如: MapInfo 公司的 MapInfo ProServer 和 MapX-treme, ESRI 公司的 Internet Map Server (IMS) for Arc View & Map Objects, AutoDesk 的 MapGuide 等等。目前 WebGIS 还处于不成熟的初级阶段, 总的来说, 还没有得到广泛应用, 已经推出的 WebGIS 产品大多是利用现有 GIS 软件通过 Server API 构造的过渡型产品。随着组件式 GIS 的发展和分布式对象 Web (Distributed Object Web) 技术的逐渐成熟, 未来的 WebGIS 将是基于 COM/ActiveX 或 CORBA/Java 开发的分布式对象 WebGIS。当然, 随着 WebGIS 的发展, 现在的 WebGIS 已不再是只满足地图浏览和查询的软件, 而是一个体系先进、功能强大的服务器端 GIS (Server GIS)。这种新的服务器端 GIS 是未来应用发展的主流。WebGIS 除了应用于传统的国土、资源、环境等政府管理领域外, 也正在促进与老百姓生活息息相关的车载导航、移动位置服务、智能交通、抢险救灾、城市设施管理、现代物流等产业的迅速发展。所以, WebGIS 是 GIS 走向社会化和大众化的有效途径, 也是 GIS 发展的必由之路。此外, 有关服务 GIS、视频 GIS 也已初见端倪, 值得期待。

(5) 多维地理信息系统

早期 GIS 的研究因受条件限制, 多是二维空间内的研究。随着三维数据获取技术的进步, 包括航空与近景摄影测量、机载与地面激光扫描、地面移动测量与 GPS 等, 传感器的精度与速度都有了明显的提高。二维 GIS 数据模型与数据结构理论和技术的成熟, 图形学理论、数据库理论的进一步发展, 应用需求的日益迫切, 具有处理真三维数据能力的三维 GIS 的发展近几年受到了许多学者的极大关注。在许多研究中, 人们所要研究的对象是充满整个 3D 空间的, 如大气污染、洋流、地质模型等, 必须用一个 (X, Y, Z , 或者经纬度与高程) 的三维立体坐标来描述地理对象。传统的 GIS 软件一般只能在二维的基础上模拟和处理现实中的三维现象, 其应用往往停留在处理地球表面的数据。当人们不得不考虑高程时, 通常将高程视为地球实体的一种属性, 这就是所谓的 2.5 维 GIS。2.5 维 GIS 与三维 GIS 的本质区别在于高程 Z 是看成空间数据还是属性数据。三维 GIS 在数据采集、数据结构、空间关系、空间分析等方面比二维 GIS 要复杂得多。三维 GIS 涉及数据获取技术、管理技术、可视化技术、分析技术和三维 GIS 软件开发技术等诸多方面。所以, 三维 GIS 问题一直是 GIS 理论和应用研究中的热点问题之一, 其现实意义是显而易见的。一些 GIS 软件已经具有在地质矿产、土地信息、管线成图与信息管理等领域的 2.5 维表面建模和三维景观可视化能力, 但还不是真三维。所谓真三维 GIS, 它是将空间坐标 (X, Y, Z) 作为独立参数来进行空间实体的几何建模, 其数学表达式为: $F=f(x, y, z)$, 其所建立的模型不仅可以实现三维可视化, 还可以进行三维空间分析。三维 GIS 技术从软件到硬件、从多源数据获取技术到数据库一体化管理技术、多维数据的集成应用与动态可视化技术等都已取得进展, 并开始商品化, 正逐步应用于众多领域, 如城市应急指挥、智能交通、城市规划与设计、电子商务与小区管

理、城市微气候和大气污染模拟、噪声分析、虚拟旅游、地质与地下管线管理等方面，特别是在社会化服务中有着越来越明显的优越性。

四维 GIS 就是要在 GIS 中考虑时间变化的概念。GIS 所描述的现实世界是随时间连续变化的，传统的无时间概念的 GIS 中的数据，只能是现实世界在某个时刻的反映。然而，在某些应用中，记录历史数据有时候是非常重要的，时间必须作为一个与空间同等重要的因素引入 GIS 中来，这样便产生了四维 GIS 的概念。

目前，多维数据模型的研究是一个重要热点，虽然已经有 3D GIS 系统问世，但其功能远远不能满足人们对三维空间信息进行分析的需要。主要原因是 3D GIS 理论不成熟，其拓扑关系模型一直没有完全解决；另外三维基础上的数据量十分大，很难建立一个有效的、易于编程实现的三维模型。不过计算机海量数据的处理为真三维 GIS 提供基础，开发具有管理真三维或四维空间数据应用功能的地理信息系统还有待研究。

(6) 3S 技术集成

3S 技术指的是全球定位系统 (GPS)、遥感技术 (RS)、地理信息系统 (GIS)。GIS 发展的重要趋势是与全球定位系统 (GPS) 和遥感 (RS) 的集成，从而构成实时的、动态的 GIS。使得人们能够自动、实时地采集、处理和更新数据，而且能够分析和运用数据，为各种应用提供科学的决策咨询，并回答用户可能提出的各种复杂问题。GPS 可以非常方便地提供导航、定位信息，为 GIS 的快速定位和实时更新提供手段，引入 GPS 的研究成果可以提高 GIS 数据采集的精度；RS 是 GIS 重要的数据源和数据更新手段，高分辨率遥感影像意味着人们在数据采集和数据更新上的一场革命，利用 RS 可以快速获取多平台、多时相、多波段、高分辨率，反过来又可利用 GIS 支持从遥感影像数据中自动提取语义和非语义信息。总的来说，3S 技术整体结合所构成的系统是高度自动化、实时化的 GIS 系统。

1.2 地理系统的功能及应用

地理信息系统是对地理空间数据进行处理加工，提取需要的空间信息乃至知识系统。系统的基本任务包括利用地物或区域的空间位置数据或信息，来查询、获取地物或区域的自然或人文的有关属性信息；利用地物或区域的属性数据或信息，来查找满足给定条件的地物信息或区域的地理位置信息；根据已有数据，包括现状和历史的数据，识别地理现象已经发生或正在发生变化，总结出变化趋势，为用户提供关于变化趋势的图表等。

1.2.1 地理系统的功能

地理系统的功能服务于地理系统的上述任务，覆盖了从数据采集、处理和分析，乃至决策、应用的全部过程。按照地理系统中的数据流程，将地理系统的主要功能（如图 1-2）分成五类：数据的采集与输入、数据处理、数据的存储组织与管理、空间查询与分析、数据的显示与输出。

(1) 数据采集与输入

数据的采集指地理系统从现实世界以及从现存文件、地图中获取地理空间数据，并输入到计算机中。即把地图数据和描述它的属性数据通过各种数字化设备将各种已存在的地图数字化，或者通过通信或读磁盘、磁带的方式录入遥感数据和其他已存在的数据，或者依赖于全球定位系统获取数据，还包括以适当的方式录入各种统计的数据以及仪器记录的数据。目前可用于地理系统数据采集的方法与技术很多。一部分是通用的计算机方法，如利用键盘、软驱、光盘机、扫描仪等来输入数据；另一部分是地理系统及相关领域的专

业方法,如利用全站仪等测量设备采集地理空间数据,利用手扶跟踪数字化仪从原有地图上采集并输入地理空间数据等。

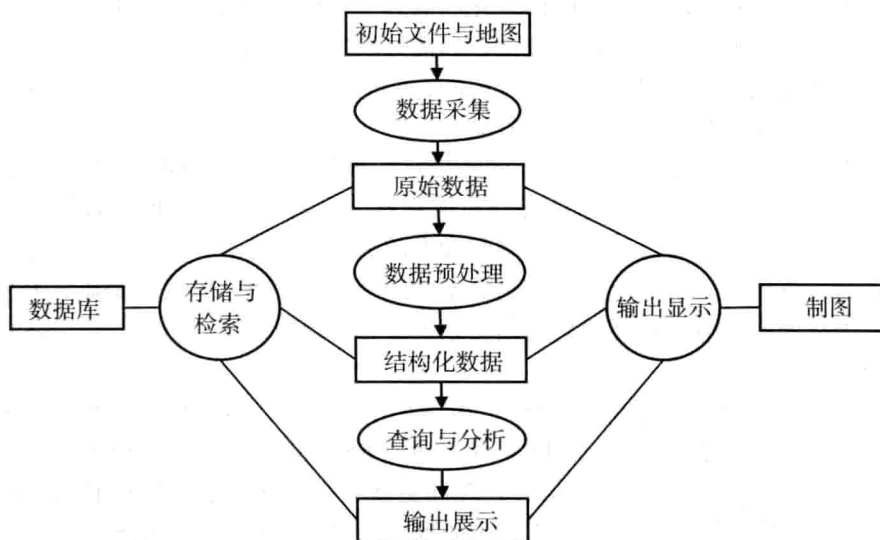


图 1-2 地理信息系统功能图

(2) 数据处理

主要包括检验与编辑、格式化、转换和概括。地理空间数据输入地理信息系统之后,需要进行检验,并按照地理信息系统数据库运作和分析功能等的要求进行编辑、修改,以保证数据在内容与空间上的完整性、数值逻辑一致性、美观、正确性、适宜于用户的具体需求等。这就是检验与编辑功能。

格式化功能是使 GIS 中的数据采集,或转换为某种合适地理信息系统运作和用户需要的数据结构,例如,矢量数据结构或栅格数据结构,或其相互转化等。

数据转换通常有两种类型。一类是坐标转换。坐标转换又包括两种:一是不同平面坐标间的坐标变换,变换公式可以是线性的,也可以是非线性的。二是地图投影,即将地表曲面(球面或旋转椭球面)上的地理坐标,转换为地图上的平面坐标。

另一类数据转换是不同数据格式(Format)的转换。这种转换是由于 GIS 软件开发者和数据生产者皆采用各自的方式来组织地理空间数据,导致实际应用的 GIS 数据格式千差万别。例如:美国的 ESRI(环境系统研究所, Environmental System Research Institute, Inc.)、MapInfo 和 Intergraph 等公司所开发的 GIS 软件包,所用数据格式皆不同;即使是同一公司的不同软件产品,如 ESRI 公司的 Arc/Info 和 ArcView,也会采用不同的数据格式。另一方面, GIS 数据生产者或供应商,如美国地质测量局、农业部、人口调查局等,所提供的地理空间数据的格式也各不相同。而地理信息系统用户常常需要采用多种 GIS 软件开发商或数据供应商的数据。因此,地理信息系统必须具备进行不同数据格式之间转换的功能。

数据概括功能对应着地图学的制图概括(Generalization, 也称制图综合),即利用计算机手段来进行制图概括。制图概括很大程度上依赖于地图学家的专业智能及人为处理。因此,实现数据概括功能的难度较大。目前常见的 GIS 数据概括功能仅有:线条的简化、平滑;部分实现比例尺缩小时地物数量、形态等的筛选和简化表达,以及在荧屏上缩小或放大

地图时,自动地减少或增加图层,以保持适当的地图图面负载量等。总的来说,GIS 系统的数据概括功能至今仍很欠缺,需要尽可能采用计算机人工智能技术,加强这方面的研究开发。

(3) 数据存储、组织与管理

地理信息系统的数据存储、组织和管理功能是实现 GIS 表达、运作和其他功能的基础。为了实现 GIS 数据处理等功能,地理空间数据必须按照 GIS 表达和运作的要求来组织和管理,而这种组织与管理又与地理空间数据的存储技术密切相关。数据的存储与管理实际上是一个数据集成的过程,也是建立地理信息系统数据库的关键步骤,涉及空间数据和属性数据的组织。一般的计算机数据结构和数据库系统技术还不能很好地解决 GIS 的数据存储、组织和管理的问题。因此,地理信息系统必须发展自己特有的数据存储、组织和管理功能。空间数据结构的选择在一定程度上决定了系统所能执行的数据操作与分析的功能。混合型数据结构利用了矢量与栅格数据结构的优点,被许多成功的地理信息系统软件所采用。属性数据的组织有层次结构、关系结构等,关系数据库系统易被理解与接受,成为目前最为广泛采用的系统。在数据组织与管理中,最为关键的是如何将空间数据与属性数据融合为一体。大多数现有系统都是将两者分开存储,通过公共项来连接。这种组织方式的最大缺点是无法有效地记录地物在时间域上的变化属性,数据的定义与数据操作相分离。

(4) 空间查询与分析

空间分析是地理系统的核心功能,也是地理信息系统与其他计算机系统的根本区别之一。GIS 提供了功能强大的查询和检索功能,是地理信息系统最基本的分析功能。空间查询检索一般有三种形式:一是从地物的空间位置查询或检索地物的属性;二是从地物的属性数据条件查询或检索地物的空间位置特征;三是让用户通过图形手段,查询指定范围中地物的空间位置和属性双重特征。将查询检索的结果用图形图像等可视化方式表达出来,也是空间查询检索功能的必要组成部分。查询、检索、统计、空间分析、模型分析等功能是地理信息系统以及许多自动化地理数据系统应具备的基本分析功能。模型分析意指在地理信息系统支持下处理分析问题的方法,它是地理信息系统的高级分析功能,也是地理信息系统应用深化的重要体现。

(5) 数据显示与输出

可视化是地理信息系统的基本特征。除采用报告、表格和图表等常规数据表达方式外,所有地理信息系统皆为用户提供可视化表达地理空间数据的手段或输出产品。空间显示包括图形的二维和三维显示,二维显示可用颜色不同来区分不同的值,三维则可以用直观的起伏来表示大小。地理信息系统为用户提供了许多用于显示地理数据的工具。例如,通过计算机屏幕显示或纸张输出等形式,显示、分析、绘制和输出地图及相关数据。地理信息系统具有良好的、交互式的制图环境和可视化分析环境,让用户能够设计和制作出高质量的图片,或采用人机交互方式进行空间分析研究。

1.2.2 地理信息系统的主要应用

地理信息系统在最近的 30 多年内取得了迅猛的发展,国内外大量的调查表明,85% ~ 90% 的政府部门需要应用 GIS 技术。GIS 传统应用领域是环境和自然资源评价、规划、交通、公用设施管理和军事等,以政府部门应用为主。在美国等发达国家,20 世纪 80 年代 GIS 应用就向企业、商用领域迅速扩展,到 20 世纪 90 年代,GIS 在企业、商用领域的广泛应用导致形成了一个新领域——Business Geography (商业地理)。如果说,众多政府部门已

为 GIS 提供广阔领域,那么, GIS 进入企业和商用领域,为 GIS 带来了更大的应用空间。随着新技术的发展,能够获取或者共享的区域性社会经济等数据越来越丰富,使 GIS 走向公众走向民用。例如:基于 GIS 和全球定位系统的民用轿车导航系统已经很普及,导航系统屏幕上会给出比例尺合适的电子地图。综上所述, GIS 广泛应用于水利电力、环境评估、灾害预测、公共设施管理、国土管理、城市规划、邮电通信、交通运输、军事公安、农林牧业、统计金融等几乎所有领域。下面分别介绍不同条件下的 GIS 的应用。

(1) 空间查询和分析功能的应用

在地理信息系统开发的过程中,其建库是分层处理的,也就是要根据数据的性质分类,性质相同或相近的归并在一起,形成一个数据层。这种应用以原始图来输入,而查询和分析结果则是以原始图为依据经过空间分析操作后生成新图来表示,在空间定位上仍与原始图一致。因此,也可将其称为空间函数变换。这方面应用的例子有很多,例如在环境保护方面,对水土流失导致土地资源的破坏进行评价,在地学方面, MAPGIS 在油气勘探和矿藏预测中的应用解决了肉眼所看不见的深部构造问题以及矿产的远景。在城市防震减灾系统中, 1994 年的美国洛城大地震,就是利用 GIS 进行灾后应急响应决策支持,成为了 GIS 在城市防震减灾系统的成功应用典范。

(2) 与遥感处理系统相结合的应用

遥感数据是地理信息系统的重要信息源。目前在大多数 GIS 系统中已经融进了图像处理功能,并把它作为一个子模块。如在海湾战争期间,美国采用了 GIS 实时服务,为战争需要在工作站上建立了 GIS 与遥感的集成系统,它能用自动影像匹配和自动目标识别技术处理,处理卫星和高空侦察机实时获得战场数字影像,及时地将反映战场现状的正射影像叠加到数字地图上,使数据直接传送到海湾前线指挥部和五角大楼,为军事决策提供了高效的服务。

(3) 空间地理数据管理功能的应用

目前常见的数据库管理系统在对地理空间数据的管理上存在两个不足之处,一是缺乏空间实体定义能力;二是缺乏空间关系查寻能力。而地理信息系统则具有强大的空间地理数据管理功能。如在对市政设施管理的应用中不仅可以以大比例尺地形图为基础图形数据,而且可以在此基础上综合叠加地下及地面的上下水、电力、通信等管线以及测量控制网、规划路线等基础测绘信息,形成一个测绘数据的城市地下管线信息系统,从而实现对地下管线信息的全面的现代化管理,为城市交通、城市规划管理部门提供地下管线及其他测绘数据的查询服务。

(4) 综合分析及预测功能的应用

GIS 不仅可以对地理空间数据进行编码、存储和提取,而且还可以将对现实世界各个侧面的思维评价结果进行综合分析评价,也可以模拟自然过程、决策和倾向的发展过程,对未来的结果做出定量和趋势预测,对比不同决策方案的效果以及倾向,做出最优决策,避免和预防不良后果的发生。如美国资源部已经利用此功能建立了以治理土壤侵蚀为主要目的的多用途专用的土地 GIS。

总之, GIS 为人类由客观世界到信息世界的发展和转化创造了良好的条件和环境。目前已成功地应用到了包括资源管理、自动制图、设施管理、城市和区域的规划、人口和商业管理、交通运输、石油和天然气、教育、军事等一百多个领域。在美国等发达国家,地理信息系统的应用遍及城市规划建设、环境保护、政府管理、资源保护、灾害预测等众多领域。近年来,我国经济建设的迅速发展,加速了地理信息系统应用的进程,在城市规划管理、交通运输、环保等领域发挥了重要的作用。

第2章 三维GIS概述及发展状况

2.1 地理信息系统的历史及现状

地理信息系统最初是为了解决环境与资源等全球性问题而发展起来的,其发展主要经过了四个阶段:

(1) 20世纪60年代地理信息系统的诞生期:诞生了世界上第一个地理信息系统CGIS,当时主要是用于自然资源的管理和规划。在CGIS出现后不久,Duane F. Marble在美国西北大学利用数字计算机研制软件系统,以支持对大规模城市交通的研究,并提出了地理信息系统软件的思想。也就是在60年代,关于计算机辅助制图系统的研究逐步开展起来,这对地理信息系统发展产生了深刻的影响。来自美国西北技术研究所的Howard Fisher教授在福特基金会的资助下,建立了哈佛计算机图形与空间分析实验室,开发了SYMAP、ODYSSEY软件包。SYMAP对当今栅格地理信息系统有着很大影响,ODYSSEY则被认为是当代矢量地理信息系统的原型。另外在其他国家也开展了地理信息系统或相关技术的研究,如David P. Bickmor在英国自然环境研究会(NERC)资助下,成立从事计算机制图与地理信息系统研究的实验制图部。当时的研究注重于空间数据的地学处理,这一时期地理信息系统发展的动力来自于诸多方面,并且大多数研究工作局限于政府及大学、国际交流合作。

(2) 20世纪70年代地理信息系统的巩固期:计算机软硬件技术的飞速发展,尤其是大容量存储设备的使用,促进了GIS朝着实用化的方向发展。一些发达国家先后建立了各种专业的土地信息系统和地理信息系统。一些商业的GIS软件也投入市场,许多大学和研究机构开始重视GIS软件的设计和研究。由于计算机处理能力的飞速发展和环境、资源等问题日益突出,GIS技术开始进入实用阶段。这个时期地理信息系统发展注重于空间地理信息的管理,继承了60年代的思想及技术并充分利用新的计算机技术,但是在系统数据分析能力等方面还不够成熟,技术上未有新的突破。

(3) 20世纪80年代地理信息系统的大发展时期:GIS技术逐渐走向成熟,专业制造商开始出现,商业化的实用系统进入市场,应用领域迅速扩大。这个时期地理信息系统注重于空间决策支持分析,其应用领域迅速扩大,从资源环境规划到商业服务区划分,包括了土木工程、生态规划、园林管理、计算机科学等诸多的学科与领域,并在进一步发展。许多国家已制定了本国的地理信息系统发展规划,启动了若干科研项目,建立了一些政府性、学术性结构,如美国纽约州立大学创建的GIS实验室,由美国国家科学基金会支持的国家地理信息和分析中心(NCGIA)及英国于1987年成立的地理信息协会等。此外,在1984年,Marble等人拟定了空间数据处理计算机软件说明的标准格式,并提出了GIS在今后的发展应着重于研究数据处理的算法、数据结构和数据库管理系统三个方面的内容。

(4) 20世纪90年代地理信息系统的应用普及时代:国外地理信息系统,现已进入了产业化阶段,涌现出一大批以GIS为核心的信息技术产业公司。目前世界上常用的GIS软件已达400余种,如ARCINFO、TIGRIS、SPANS、MAPINFO、GENAMAP、ERDAS等具有代表性的产品。社会对地理信息系统的认识普遍提高,需求大幅度增加,从而使得地理信息系统的

应用更加深化。国家乃至全球性的地理信息系统成为公众关注的问题,毫无疑问,地理信息系统已发展成为当今社会最基本的服务系统之一。

我国 GIS 的发展起步于 20 世纪 70 年代,1977 年国家测绘局开发了我国第一张由计算机输出的地图,大量的航空摄影测量和地形测量为我国地理信息系统的研制和应用作了技术上的准备。进入 20 世纪 80 年代后,我国的地理信息系统全面进入试验阶段,主要研究的是数据规范和标准、空间数据库、数据处理和分析算法及应用软件的开发。以农业为对象,研究有关质量评价和动态分析预报的模式与软件,并用于水库淹没损失、水资源估算和土地资源清查,开展了环境质量评估与人口趋势分析等多项专题的实验研究。专题试验和应用方面,在全国大地测量和数字地面模型建立的基础上,历时 10 年的时间建成了 1:100 万国家基础地理信息系统,1:400 万全国资源和环境信息系统及 1:250 万水土保持信息系统,并开展了黄土高原、三北防护林、黄河三角洲、洞庭湖地区、三江平原等区域性地理信息系统以及洪水灾情预报与分析系统等专题研究试验;同时,用于辅助城市规划的各种小型信息系统也在城市建设和规划部门得到了认可和应用。20 世纪 90 年代以来,我国的地理信息系统发展得十分迅速,国家测绘局已在全国范围内建立了数字化测绘信息产业,保证了向地理信息系统源源不断地提供地形和专题信息。1994 年 4 月,中国地理信息系统协会正式成立,标志着我国地理信息系统建设有了专业性的指导和咨询机构。随着国内基础研究的发展以及应用领域的不断扩大,GIS 的发展逐步走向成熟,在全世界范围全面推广,其应用的领域不断扩大,并与卫星遥感技术结合,开始在全球性问题的研究中应用。经过几年的努力,一些国内的 GIS 软件产品相继问世,如 MAPGIS、GEOSTAR、CITYSTAR、MAPENGINE 等许多具有市场竞争力和代表性的产品。虽然我国的地理信息系统事业起步较晚,但经过近二十年的发展,取得了重大的进展。目前,我国的地理信息系统正在向产业化方向发展,GIS 已渗透到各行各业并成功地应用到环境保护、资源保护、灾害预测、投资评价、城市规划建设、政府管理等众多领域,并取得了良好的经济效益和社会效益。

2.2 从二维 GIS 到三维 GIS 的转变

二维 GIS 是将三维空间中的对象抽象为点、线、面,并投影到平面上进行表达,由于这种模型具有广泛的适用性,因此迅速应用到各个领域,如土地管理、电力、电信、城市管网、水利、消防、交通以及城市规划等,理论技术的成熟使二维 GIS 日趋标准化。但二维 GIS 存在着自身难以克服的缺陷,本质上是基于抽象符号的系统,不能给人以自然界的本原感受。随着应用的深入,第三维的高程信息显得越来越重要。一些二维 GIS 和图像处理系统现已能处理高程信息,但它们并未将高程变量作为独立的变量来处理,只将其作为附属的属性变量对待,能够表达出表面起伏的地形,但地形下面的信息却难以表达,因此它们在国际国内也被俗称为 2.5 维的系统,其本质上仍然是二维 GIS 系统。

二维 GIS 只能处理平面 X 、 Y 轴向上的信息,不能处理铅垂方向 Z 轴上的信息。它在表达上通常是将 Z 值投影到二维平面上进行处理,因此对于同一 (x, y) 位置的多个 Z 值不能表达。

2.5 维的系统将 Z 值投影到一个模型上,显示时 X 、 Y 、 Z 三个轴均被显示,其模仿人类从某点观察的视觉,使三维对象看起来像真正的三维对象一样。但是该技术有两个明显的缺点:

- ①它表达的对象内部是空的,不具备应有的信息;

②虽然它能表现邻近的多个表面,但对于表面交叉的情况,则难以进行交叉表达和管理。

只有将这类现象置于真正的三维空间中考虑,才能灵活高效地处理各种三维问题,如三维内部属性和拓扑关系、三维空间索引和管理等。这是三维空间表达与二维GIS、2.5维GIS系统表达的本质区别之一。

三维空间表达考虑多个 Z 值的出现,将多个 (X, Y, Z) 观测点结构化为实体域,这种处理较为接近对人类居住空间的实际描述。

2.3 三维GIS的定义、特点及功能

2.3.1 三维GIS的定义

三维GIS研究范围涉及数据库、地理信息系统、科学计算可视化、虚拟现实等多门学科领域。三维GIS的研究对象是三维空间,必须能对与三维对象相关的信息建模、表示、管理、操作、分析和决策。三维GIS所处理的对象从二维到三维的转变,不只是意味着数据量的增加,更重要的是会导致出现很多不同的对象类型和空间关系。因此,三维GIS的研究不是对二维GIS的简单扩展,则其定义也不能只是基于二维定义的简单延伸。

从不同的角度出发,GIS有三种定义:①基于工具箱的定义,认为GIS是一个从现实世界采集、存储、转换、显示空间数据的工具集合;②数据库定义,认为GIS是一个数据库系统,在数据库里的大多数数据能被索引和操作,以回答各种各样的问题;③基于组织机构的定义,认为GIS是一个功能集合,能够存储、检索、操作和显示地理数据,是一个集数据库、专家和持续经济支持的机构团体和组织结构,提供解决环境问题的各种决策支持。

基于工具箱的定义强调对地理数据的各种操作,基于数据库的定义强调用来处理空间数据的数据组织的差异,而基于组织的定义强调机构和人在处理空间信息上的作用,而不是他们需要的工具的作用。

三维GIS是模拟、表示、管理、分析客观世界中的三维空间实体及其相关信息的计算机系统,能为管理和决策提供更加直接和真实的目标和研究对象。三维GIS及相关技术已经成为目前国内外GIS领域内的热点研究课题,它是二维GIS技术的延伸和扩展。

2.3.2 三维GIS的特点

在三维GIS中,空间对象通过 X 、 Y 、 Z 三个坐标轴来定义,它与二维GIS中定义的二维平面上的对象具有完全不同的性质。在目前二维GIS中已存在的0、1、2维空间要素必须进行三维扩展,在几何表示中增加三维信息,同时增加三维要素来表示体对象。空间对象通过三维坐标定义使得空间关系也有别于二维GIS,其复杂程度更高。二维GIS对于平面空间的有限—互斥—完整划分是基于面的划分,三维GIS对于三维空间的有限—互斥—完整划分则是基于体的划分。同时三维GIS的可视表现也比二维GIS复杂得多,以至于出现了专门的三维可视化理论、算法和系统。

总的来说,与二维GIS相比,三维GIS对客观世界的表达能给予人更真实的感受,它以立体造型技术为用户展现地理空间现象,不仅能够表达空间对象间的平面关系,而且能够描述和表达它们之间的垂向关系;另外对空间对象进行三维空间分析和操作也是三维GIS特有的功能。与CAD及各种科学计算可视化软件相比,它具有独特的管理复杂空间对象能力及空间分析的能力。三维空间数据库是三维GIS的核心,三维空间分析则是其独有的功能。另

外, 三维 GIS 的理论研究和系统建设工作也比二维 GIS 复杂得多。

2.3.3 三维 GIS 的功能

三维 GIS 除了具备二维 GIS 的传统功能以外, 还应该具有如下独有的功能:

1. 包容一维、二维对象

三维 GIS 不仅要表达三维对象, 而且要研究一维、二维对象在三维空间中的表达。三维空间中的一维、二维对象与传统 GIS 的二维空间中的一维、二维对象在表达上是不一样的。传统的二维 GIS 将一维、二维对象垂直投影到二维平面上, 存储它们投影结果的几何形态与相互间的位置关系。而三维 GIS 将一维、二维对象置于三维立体空间中考虑, 存储的是它们真实的几何位置与空间拓扑关系, 这样表达的结果就能区分出一维、二维对象在垂直方向上的变化。二维 GIS 也能通过附加属性信息等方式体现这种变化, 但存储、管理的效率就显得较低, 输出的结果也不直观。

2. 可视化 2.5 维、三维对象

三维 GIS 的首要特色是要能对 2.5 维、三维对象进行可视化表现。在建立和维护三维 GIS 的各个阶段中, 不论是对三维对象的输入、编辑、存储、管理, 还是对它们进行空间操作与分析或是输出结果, 只要涉及三维对象, 就存在三维可视化问题。三维对象的几何建模与可视表达在三维 GIS 建设的整个过程中都是需要的, 这是三维 GIS 的一项基本功能。

3. 三维空间 DBMS 管理

三维 GIS 的核心是三维空间数据库。三维空间数据库对空间对象的存储与管理使得三维 GIS 既不同于 CAD、商用数据库与科学计算可视化, 也不同于传统的二维 GIS。它可能由扩展的关系数据库系统也可能由面向对象的空间数据库系统存储管理三维空间对象。

4. 三维空间分析

在二维 GIS 中, 空间分析是 GIS 区别于三维 CAD 与科学计算可视化的特有功能, 在三维 GIS 中也同样如此。空间分析三维化, 也就是直接在三维空间中进行空间操作与分析, 连同上文述及的对空间对象进行三维表达与管理, 使得三维 GIS 明显不同于二维 GIS, 同时在功能上也更加强大。

5. 应能及时受益于现代数据获取方法的进展和大数据量处理技术的发展

目前, 由于科技水平的限制, 人类获取地学三维数据的能力的弱小是阻碍三维 GIS 迅速发展的一个重要原因。一旦三维地学数据变得像遥感数据获取那样及时、广泛与普及, 三维 GIS 将会有更迅猛的发展。因此现时的三维 GIS 设计与开发应充分考虑未来三维地学数据获取能力的提高, 以便及时受益于现代数据获取方法的进步。另外, 三维 GIS 要处理的数据量往往很大, 计算机软硬件技术的飞速发展无疑能提高三维 GIS 的性能, 这一点也是三维 GIS 设计必须要考虑的。总起来说, 三维 GIS 应该留有易于扩展的接口, 具有及时吸收外部先进技术的功能。

2.4 三维 GIS 发展面临的有利因素与困难

2.4.1 三维 GIS 当前面临的有利因素

三维 GIS 现在正面临着有利的发展时机, 这表现在如下几个方面:

(1) 在二维 GIS 领域已经具备比较成熟的理论和技术, 例如在数据获取、处理、管理、输出, 数据模型与数据结构等方面有很多较为成熟的理论和方法。在实践上已有几十年的发

展经验,被广泛应用于各个部门和领域。这是众所周知的。二维GIS方面的很多理论、技术和经验都能为三维GIS借鉴。

(2) 三维可视化技术在生物、医学、地质、大气等领域已有很多成功的应用。三维GIS与二维GIS的一个重要不同之处在于它有一个三维对象的视觉表现问题,这也是它的一个基本要求,现在成熟的科学计算可视化技术已经为这一要求打下了较为坚实的理论技术基础。三维GIS工作者要做的是对各种地学对象的本质特征进行分析,找出它们与其他领域对象的不同点,进行合适的概念建模和几何建模,利用相应的三维可视化技术对之进行视觉表现。

(3) 在数据存储工具方面,关系数据库已有较成熟的理论技术和广泛的应用,为支持空间数据管理的扩展关系数据库系统和面向对象的空间数据库系统已经研制出来并已商业化,目前还在进一步完善。例如,现在的流行关系数据库系统基本上都支持空间数据的存储,支持变长记录,因此它们也都是扩展的关系数据库系统。

2.4.2 三维GIS当前面临的困难

上述已有的研究成果只是三维GIS领域的一部分,由于三维GIS涉及的专业领域很广,随着应用的深入,它还有很多问题需要解决。三维地学模拟面临的问题:复杂的空间关系;不容易找到像医学领域那样易于“解剖”的地学对象;稀疏的、随机的不充足的采样数据;来自于遥感的预示性或模糊性数据的比例尺太小;充足采样数据的获得需要昂贵的代价;岩石块内岩性变化较大;时间和地质过程的动态本质。因此,当前三维GIS发展需要解决如下关键问题:

1. 三维数据实时廉价获取

地学三维表达与分析 and 医学可视化有很多相似的地方,但医学可视化在实际应用中比较成功,而地学可视化却显得困难。其中一个重要的原因是地学三维数据采样率很低,难以准确地表达地学对象的真实状况。另一个原因是医学领域的研究者对他们研究中期望看见的对象一般都有较为准确的印象模式,而地学领域的研究者因为地学对象的复杂变化性不能准确地确定研究对象的各种属性。正因为地学对象在自然界的纷繁复杂,使得此一地的经验模型不能移植到另一地的地学研究对象中,因此三维数据实时获取在地学领域显得尤为重要。

目前常用的三维数据获取方法主要有:

- (1) 地形图和建筑图纸相结合的城市三维信息获取;
- (2) 航空航天遥感;
- (3) 激光扫描仪;
- (4) 车载移动测绘系统;
- (5) 数字摄影测量;
- (6) 合成孔径雷达。

由于理论和技术水平的限制,三维空间信息的获取能力相对较弱是阻碍三维GIS发展的一个重要原因。一旦能够实现三维空间信息的实时廉价获取,三维GIS将会有更迅猛的发展。因此,不断探索新的更高效的三维数据实时获取技术应成为长期坚持研究的课题。

2. 大数据量的存储与快速处理

在三维GIS中,无论是基于矢量结构还是基于栅格结构,对于不规则地学对象的精确表达都会遇到大数据量的存储与处理问题。除了在硬件上靠计算机厂商生产大容量存储设备和快速处理器外,还应该研究软件方面的算法以提高效率,例如针对不同条件的各种高效数据模型设计、并行处理算法、小波压缩算法及在压缩状态下的直接处理分析等。