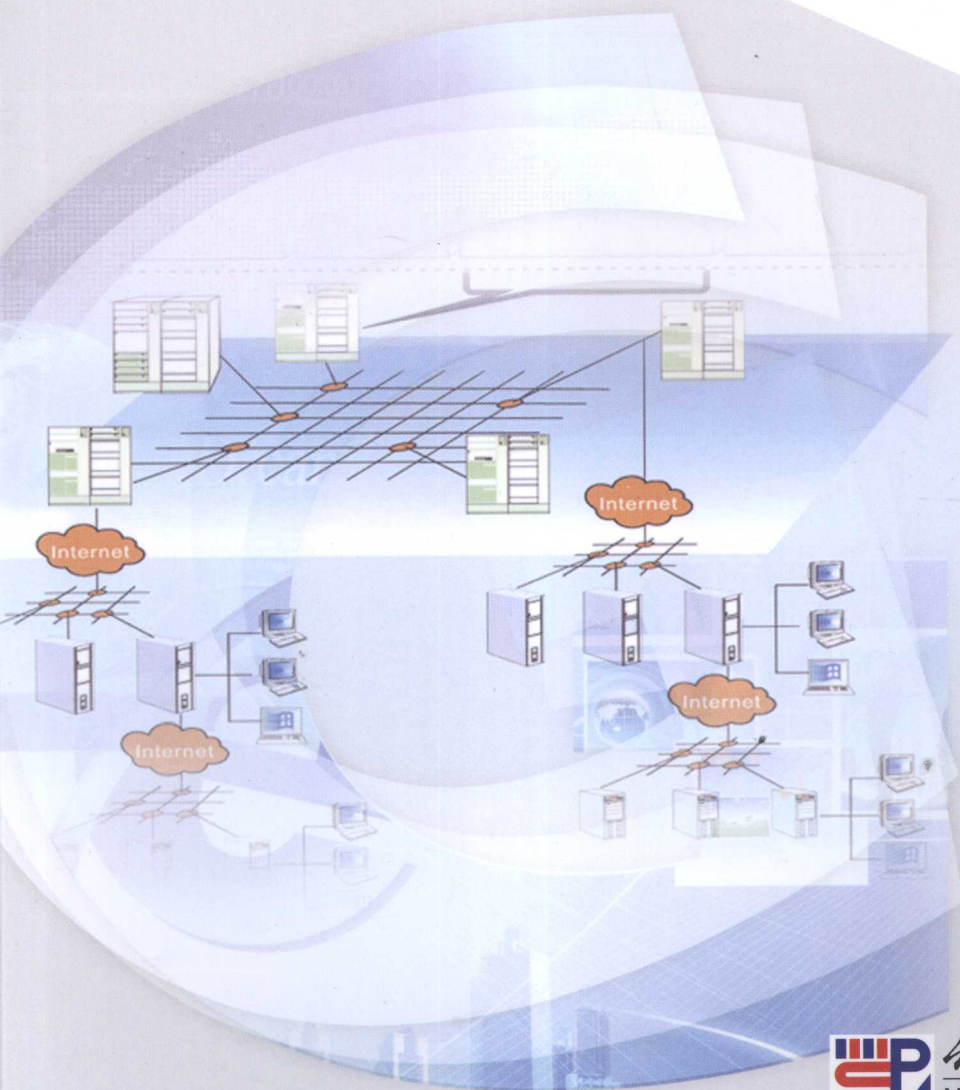




地理信息系统理论与应用丛书

面向网络的新一代 地理信息系统

● 吴信才 著



科学出版社
www.sciencep.com

地理信息系统理论与应用丛书

面向网络的新一代 地理信息系统

吴信才 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是以国家“十五”863计划项目“面向网络海量空间信息大型GIS”研究成果为核心,系统阐述当前地理信息系统(GIS)领域中最新研究理论方法,总结作者近10年来最新的研究成果,提出一个完整的面向网络的新一代GIS理论体系、技术架构和实施方法。本书主要内容包括:GIS发展现状回顾与新一代GIS提出、面向网络的新一代GIS的系统架构、面向实体的空间数据模型、分布式海量空间数据管理、空间信息服务、空间信息获取与可视化、三维空间数据可视化、新一代GIS的开发模式等,并基于新一代GIS系统架构以及相关新技术,介绍了国产GIS软件——MapGIS 7.0的实例等。

本书可作为GIS及相关专业的硕士生、博士生教材,也可作为GIS高级研究人员、GIS研发人员和GIS高级程序员的参考用书和技术指南。

图书在版编目(CIP)数据

面向网络的新一代地理信息系统/吴信才著. —北京:科学出版社, 2009

(地理信息系统理论与应用丛书)

ISBN 978-7-03-025947-9

I. 面… II. 吴… III. 地理信息系统-研究 IV. P208

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第200095号

责任编辑:韩 鹏 赵 冰/责任校对:陈玉凤

责任印制:钱玉芬/封面设计:王 浩

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009年11月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2009年11月第一次印刷 印张:14 3/4

印数:1—3 000 字数:336 000

定价:42.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

随着地理信息系统 (GIS) 和网络技术的发展, 空间数据的处理正深入到各个专业应用领域, GIS 的应用范围将越来越广泛, 从最初地学意义上的测量和统计, 发展到处理一切与地理空间位置相关的信息, 覆盖了工业、农业、交通运输、国防等众多领域, 几乎涉及人类生活的各个方面。网络技术的发展, 使得一些大型应用系统工作方式发生了改变, 其中处理的海量空间数据也从原来的集中、独占走向分布、共享。如何通过标准的分布式计算平台, 对海量空间数据库进行高效、可靠的管理和使用成为当前 GIS 技术面临的重大课题。空间信息基础设施的进一步完善, 使得空间数据的处理逐步从科学计算型过渡到决策支持型, 这就要求构建包括海量空间数据处理、各专业领域业务处理和跨专业领域综合业务处理在内的大型分布式地理信息系统。因此大型 GIS 平台开发与应用, 在测绘、国防等大型关键性业务处理中将起举足轻重的作用, 同时更是构造数字地球、数字城市系统的基础性技术。

地理空间信息产业是现代知识经济的重要组成部分, 它以 GIS 技术为核心, 集成航天航空遥感 (RS)、全球导航卫星系统 (GNSS) 等技术, 积极推动测绘、制图等传统产业向现代数字型经济产业的发展。目前全世界有关 GIS 的软件生产、技术服务、应用工程以及空间数据加工的年总产值已经达到 500 亿美元左右, 并且以 20%~24% 的年增长速度继续高速发展。当前我国 GIS 相关产业年总产值 100 多亿元, 我国的重要大型空间信息建设工程几乎完全依赖国外软件, 在国际形势复杂多变的今天, 这种局面再也不能继续下去了。研制开发具有我国自主知识产权的、支持 Unix/Linux 大型服务器、具有 TB 级空间数据处理能力、可以支持局域和广域网络环境下空间数据的分布式计算、能够支持国家空间基础设施建设的大型 GIS 基础软件平台 (即新一代 GIS, 也称第四代 GIS 软件) 十分紧迫。新一代 GIS 软件是国家空间信息基础设施建设的重要软件支撑, 是连接地理空间信息资源建设和信息资源开发应用的桥梁, 直接关系到国家的信息安全和国防安全, 对改造我国传统产业、促进新型产业经济的发展具有积极现实的和重大的战略意义。

本研究成果来源于国家高技术研究发展计划 (863 计划) “面向网络海量空间信息大型 GIS” (2003AA133010)。项目组研究人员充分研究国内外技术现状和发展趋势, 基于面向服务体系架构 (SOA) 提出 “纵向多级、横向网格” 的架构; 研制了面向地理实体的空间数据模型, 以地理实体及其关系的描述为核心, 具有二维和三维的空间表达能力, 支持基于结构和基于空间规则的空间拓扑关系, 并全面支持继承、组合等非空间关系, 解决了空间数据在计算机中的一体化组织与表达问题; 基于地理数据库实现了矢量、栅格、影像、三维四位一体的海量数据存储, 具备 TB 级的空间数据存储与管理能力; 真三维动态建模与可视化达到实用化; 紧密结合行业特色, 研制支持跨平台的深层次 GIS 应用系统可视化搭建集成环境, 实现不同粒度层次的新一代 “零编程” 二次开发模式。整个课题实现了一系列创新成果。

本书是该课题研究成果总结和凝炼，以期与国内同行和学者开展 GIS 研究与应用提供参考。

参加本书撰写工作的人员还有：谢忠、周顺平、刘修国、吴亮、万波、吕建军、何贞铭、刘福江、郑贵洲等。

由于时间紧，水平有限，难免出现错误和存在不足，敬请读者提出宝贵意见。

吴信才
2009 年 3 月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 国内外发展现状	1
1.2 目前 GIS 存在的主要问题	6
1.3 新一代 GIS 的提出	8
第 2 章 新一代 GIS 的体系架构	13
2.1 面向服务的体系架构技术	13
2.2 新一代 GIS 的体系架构	22
第 3 章 面向实体的空间数据模型	30
3.1 现有空间数据模型的缺陷	30
3.2 面向地理实体的空间数据模型的提出	31
3.3 空间数据模型的概念层次	32
3.4 空间数据的逻辑结构设计	52
第 4 章 分布式海量空间数据管理	54
4.1 地理数据库	54
4.2 栅格与影像数据库	58
4.3 空间数据库引擎技术	60
4.4 长事务处理技术	63
4.5 时空数据管理技术	66
4.6 元数据管理技术	70
4.7 数据安全与授权机制	83
4.8 数据中心	84
第 5 章 空间信息服务	98
5.1 空间信息服务标准	98
5.2 空间信息服务基础	104
5.3 空间信息应用服务	131
5.4 Web 服务与空间信息系统集成	140
第 6 章 空间信息获取与可视化	148
6.1 空间信息获取与更新	148
6.2 空间信息可视化与制图	156
第 7 章 三维空间数据可视化	160
7.1 三维空间数据模型	160
7.2 三维数据的存储管理	171

7.3	三维处理平台 MAPGIS-TDE	181
7.4	地表景观建模、可视化及分析	184
7.5	数字高程模型建模、可视化及分析	186
7.6	地质体结构建模、可视化及分析	188
7.7	地质体属性建模、可视化及分析	190
第8章	新一代 GIS 的开发模式	193
8.1	插件式开发模式	193
8.2	分布式 workflow 管理技术	204
8.3	搭建式开发模式	208
第9章	大型 GIS 的发展趋势	220
9.1	新一代 GIS 的特点	220
9.2	GIS 未来发展趋势	222
参考文献		226

第 1 章 绪 论

地理信息系统 (geographic information system, 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地理分布数据及与之相关的属性, 并回答用户问题等为主要任务的技术系统 (吴信才, 2002)。一方面, GIS 是一种以采集、存储、管理、分析和描述整个或部分地球表面与空间地理分布有关数据的空间信息系统; 另一方面, GIS 又是一类获取、访问、处理、分析、表示和在不同用户、不同系统与不同地点之间传输空间数据的计算机应用系统。GIS 作为集计算机科学、地理学、测绘学、遥感学、环境科学、城市科学、空间科学、信息科学和管理科学为一体的新兴边缘学科迅速地兴起和发展起来, 已广泛地应用于国土管理、城市规划、市政管理、资源调查、环境评估、商业和军事等领域。

1.1 国内外发展现状

1.1.1 国际发展现状

GIS 起源于北美洲。世界上第一个 GIS 是 1963 年由加拿大测量学家 Roger F. Tomlinson 提出并建立的, 时称加拿大地理信息系统 (Canada Geographic Information System, CGIS), 主要用于自然资源的管理和规划。稍后美国哈佛大学研究生部主任 Howard T. Fisher 设计和建立了 SYMAP 系统软件, 由于当时计算机技术水平的限制, GIS 带有更多的机助制图色彩。这一阶段很多 GIS 研究组织和机构纷纷成立。例如, 1966 年美国成立了城市和区域信息系统协会 (Urban and Regional Information System Association, URISA), 1968 年国际地理联合会 (International Geographical Union, IGU) 设立了地理数据收集委员会 (CGDSP)。这些组织和机构的建立对传播 GIS 知识和发展 GIS 技术起到重要的指导作用。GIS 的早期应用从强调制图和空间数据库管理, 逐渐发展为强调制图现象间相互关系的模拟, 大多数应用都包括了制图模拟, 如地图再分类、叠加和简单缓冲区的建立等; 此后的应用则更多地体现在空间模拟上, 即利用空间统计和先进的分析算子进行应用模型分析和模拟。在这个阶段, 计算机硬件系统功能还很弱, 存储能力很小, 磁带存取速度也很慢, 这一切都极大地制约着 GIS 的发展, 使得图形功能 and 数据分析功能都非常有限, 相应的算法也比较粗糙。这一时期 GIS 软件的研制主要是针对具体的 GIS 应用进行的。综合来看, 初期 GIS 发展的动力来自于诸多方面, 如学术探讨、新技术的应用、大量空间数据处理的生产需求等。对于这个时期 GIS 的发展来说, 专家兴趣以及政府的推动起着积极的引导作用, 并且大多 GIS 工作限于政府及大学的范畴, 国际交流甚少。

20 世纪 70 年代, 计算机硬件、软件技术都得到了迅速的发展, 数据处理速度加快, 内存容量增大, 输入、输出设备比较齐全, 尤其是大容量存储设备的使用, 促进了

GIS 朝实用的方向发展。图形、图像卡等技术的发展增强了图形的显示功能,为基于图形的人机交互提供了良好的基础。不同专题、不同规模、不同类型和各具特色的 GIS 在世界各地投入研制,美国、日本、瑞典等一些发达国家均投入了大量人力、物力和财力。1970~1976 年,仅美国地质调查局就发展了 50 多个 GIS,用于获取和处理地质、地理、地形和水资源信息。1974 年日本国土地理院开始建立数字国土信息系统,存储、处理和检索测量数据、航空影像、行政区划、土地利用、地形地质等信息,为国家和地区土地规划服务;瑞典则在中央、区域和城市三级职能机构中建立了一系列信息系统,如区域统计数据库、道路数据库、土地测量信息系统、斯德哥尔摩地理信息系统、城市规划信息系统等;法国建立了地理数据库 CITAN 系统和深部地球物理信息系统等。这一阶段 GIS 受到政府、商界和大学的普遍重视。在各国政府的支持下,许多大学和研究机构开始重视 GIS 软件设计及应用研究,如纽约州立大学布法罗校区创建了 GIS 实验室,后来发展成为包括加州大学和缅因州大学在内的国家地理信息和分析中心(National Center for Geographic Information and Analysis, NCGIA)。一些敏感的商业公司也开始活跃起来,参与开发的 GIS 软件在市场上受到用户的欢迎。1976 年根据 IGU 地理数据遥测和处理小组委员会的调查,处理空间数据的软件达 600 多个,完整的 GIS 有 80 个以上。这一时期地图数字化输入技术有了一定的进展,采用人机交互方式,易于编辑修改,提高了工作效率,并出现了扫描输入技术系统;但图形功能扩展不大,数据管理能力还较小。系统的应用与开发多限于某个机构,专家个人的影响削弱,而政府影响增强。

20 世纪 80 年代以来,图形工作站和个人计算机等性能价格比大为提高的新一代计算机的出现,以及数据库管理系统等成熟软件产品的推出,为 GIS 的普及创造了良好的条件,使得 GIS 的应用领域得到了迅速的扩展。GIS 与卫星遥感技术结合,开始用于全球性的科学和社会问题,如全球变化和全球监测、全球沙漠化、全球可居住区评价、厄尔尼诺现象、酸雨、核扩散及核废料等。例如,美国地质调查局应用 GIS 在美国三里岛核泄漏事件发生后的 24 小时内就做出了应急反应,并迅速对核扩散后果进行了全面评价。许多国家制定了本国的 GIS 发展规划,启动了若干科研项目,建立了一些政府性、学术性机构,例如,中国于 1985 年成立了中国科学院地理科学与资源研究所资源与环境信息系统国家重点实验室,美国于 1987 年成立了国家地理信息与分析中心(NCGIA),英国于 1987 年成立了地理信息协会。20 世纪 80 年代是 GIS 取得突破性发展的年代,涌现出一批具有代表性的 GIS 软件,如 Arc/Info、GENAMAP、SPANS、MapInfo、ERDAS、MicroStation、SICAD、IGDS/MRS 等。其中一些商业软件(如 Arc/Info)已在环境生态调查、矿产资源评价、国土资源管理等各种专业领域中发挥着重要作用。

20 世纪 90 年代以来是 GIS 的蓬勃发展阶段,随着地理信息产品的建立和数字化产品在全世界的普及,GIS 已成为确定性的产业。尤其是互联网的出现和普及使得 GIS 的应用得到了极大的推广。在这个阶段,GIS 已经是许多机构必备的工作系统,尤其是政府决策部门在一定程度上由于受地理信息系统影响而改变了现有机构的运行方式、设置与工作计划等。社会对地理信息系统的认识普遍提高,需求大幅度增加,从而促使地理信息系统应用的扩大与深化。国家级乃至全球性的地理信息系统已成为公众关注的问

题,例如,地理信息系统已列入美国政府制定的“信息高速公路”计划,美国前副总统戈尔提出的“数字地球”战略、我国的“21世纪议程”和“三金工程”也包括地理信息系统。地理信息系统已发展成为现代社会最基本的服务系统。

GIS 技术在近 10 年里不断创新和发展,新一代地理信息技术正在形成,其应用和市场更加广阔。新一代地理信息技术主要以组件式 GIS、Internet GIS、三维 GIS 和嵌入式 GIS 等软件为代表,利用人工智能技术与 GIS 技术的融合,开展智能决策支持系统(intelligent decision support system, IDSS)的新领域研究,并取得了一定的进展。目前,国际上诸多 GIS 专业软件公司,都在着手和投入新一代 GIS 技术研究、开发和市场争夺。

1.1.2 国内发展现状

GIS 的研制与应用在我国起步较晚,历史较短,但近期发展势头十分迅猛。

GIS 在中国的发展可分为三个阶段:1970~1980 年为准备阶段,主要是进行舆论准备,正式提出倡议,开始组建队伍、培训人才,组织个别实验研究。此阶段开展的机助制图和遥感应用,为 GIS 的研制和应用做了人才、技术和理论上的准备。1981~1985 年为起步阶段,在短短 5 年时间里,完成了技术引进、研究数据规范和标准、空间数据库建立、数据处理和分析算法及应用软件的开发等基础研究工作,并对 GIS 开始了理论探索和区域性应用的实验研究。在全国大地测量和数字地面模型的基础上,建成了 1:100 万国土基础信息系统和全国土地信息系统、1:400 万全国资源和环境信息系统以及 1:250 万水土保持信息系统,这些都为国内 GIS 的后续发展奠定了坚实基础。1986 年到现在为快速发展阶段,国内 GIS 研究和应用都步入了有组织、有计划、有目标的良性发展时期,逐步建立了不同层次、不同规模的组织机构、研究中心和实验室。1994 年中国 GIS 协会成立,拉开了整体布局、有序研究的序幕。GIS 研究逐步与国民经济建设和社会生活需求相结合,取得了重要的技术进展和实际应用效益。这一阶段的主要成果集中表现在四个方面。

(1) 制定了国家 GIS 规范,以解决信息共享和系统兼容的问题,为全国 GIS 的建立做好了必要准备。

(2) 应用型 GIS 发展迅速,应用领域急剧扩张。目前 GIS 在国内的大规模应用已经包括了 60 多个重要的国民经济和基础科技领域,同时在一些如旅游、考古等社会科学领域和行业部门,也已有了引入和应用 GIS 的计划安排。

(3) 在引进国外产品的基础上扩充和研制了一批软件。国内开发出的比较流行的 GIS 软件有中国地质大学的 MapGIS、北京大学的 CityStar、武汉测绘科技大学的 GeoStar、中国林业科学研究院的 ViewGIS 等,开创了用计算机编制专业图件的新时代。

(4) 开始出版有关 GIS 理论技术和应用等方面的著作,并积极开展国际合作,参与全球性 GIS 的讨论和实验。1992 年 10 月联合国经济发展部(UNDESD)在北京召开了城市 GIS 学术讨论会,对指导、协调和推动我国 GIS 发展起着重要的促进作用。

国家在“九五”期间连续对空间信息技术研究进行重点支持,“十五”期间还将其

列入“863”计划继续给予重点支持。科学技术部为了促进国产 GIS 软件成果商品化、产业化，每年组织国产 GIS 软件进行测评，组织优秀示范工程评选，极大地推动我国的 GIS 技术和产业的发展。“十五”期间，科学技术部实现了测评工作制度化、经常化，建立了 GIS 软件测评中心，并逐渐朝产品认证的方向发展。

目前国内比较流行的自主开发的 GIS 基础平台软件有中国地质大学的 MapGIS、武汉大学的 GeoStar、北京超图公司的 SuperMap 等。这些国产 GIS 软件的出现对于打破国外 GIS 软件对我国市场的垄断，搞活国民经济、提高综合国力起到积极的推动作用。在巨大需求的牵引下，在国家的大力支持和推动下，我国 GIS 正处于高速发展的阶段，不论是国家空间数据基础设施的建设，还是 GIS 软件产品的开发都是如此。

1.1.3 GIS 技术体系的发展

经过多年的发展，目前 GIS 软件已经形成了大、中、小、微的成套产品系列，广泛应用于国民经济和社会生活的各个方面，得到了科技界、产业界和大众的认同。回顾 30 多年来 GIS 软件的发展历程，从技术层面着眼，大致可以分成三个阶段，相应地形成了三代软件（方裕，2001；方裕等，2001）。

1. 第一代

第一代 GIS 软件随着计算机处理能力的提高而诞生，也随着计算机系统组成的发展而逐渐消亡，其生命周期从 20 世纪 60 年代中期开始，一直延续到 20 世纪 80 年代末期。这一代 GIS 软件的主要特点是：

(1) 单机、集中式处理。所有数据的存储、管理和应用全部集中在一台计算机上。在结构上严格以系统为中心，以单用户使用为主。即使在 20 世纪 80 年代中期 X 协议及其终端已经广泛出现并在其他领域应用，但在 GIS 领域却鲜有发现。

(2) 以地图为基础进行数据处理。这一阶段使用最广泛的空间数据输入设备是数字化仪，数据获取的基本手段是将纸质地图转变为数字形式供计算机存储和处理。在这一阶段，形成了图层、图集、图库和拓扑关系等概念，一直沿用至今。

(3) 以文件系统为基础，系统完全封闭。在这一阶段，空间数据和属性数据都采用文件系统来管理。每种软件都需要自行开发数据操纵语言提供给用户使用，不能嵌入通用的编程语言，系统的功能和构造应用的能力完全受到这些语言描述能力的局限。不同的 GIS 软件之间数据交换的能力很弱，基本上没有做到空间数据的共享。

在这一阶段，GIS 软件处于诞生、蹒跚学步到逐步成形的阶段，初步形成了 GIS 的处理理论和方法体系。这一阶段形成的一系列概念和方法，对 GIS 的发展产生了积极和深远的影响。但是，由于各方面条件的限制，这个时期的系统是初级的，规模是很小的，软件实现还可能是不稳定的，还不能称得上是真正的商品化软件。

2. 第二代

第二代 GIS 软件出现于 20 世纪 80 年代末、90 年代初。在 20 世纪 80 年代中期，计算机及其软件技术已经得到长足的发展。硬件处理能力变得相当强大，个人计算机开

始担当重要的应用角色；数据库技术已经完全成熟，应用十分普遍；网络技术已经开始普遍使用，分布式计算及其环境构造技术逐步成熟，系统的体系结构开始从主机（Host-Based）型向客户端/服务器（Client/Server）型发展；面向对象的软件技术开始成熟。在这种形势下，第二代 GIS 软件开始出现。但是，由于信息技术的高速发展，这一代软件的生命周期只延续了 5~7 年。

第二代 GIS 软件在第一代的基础上，利用发展起来的新的信息技术，在下列方面有了突出的进步：

（1）利用商用数据库管理系统。这一代 GIS 软件普遍使用商用数据库管理系统（database management system, DBMS）来管理属性数据，使数据操纵能力有了显著的提高，属性数据的完整性、一致性得到了有效的保证。利用 DBMS 的丰富功能，可以有效地组织以属性数据为基础的涉及空间数据的处理事务，有效地提供了应用程序编程接口（application programming interface, API），使 GIS 软件的二次开发支持能力有了明显的提高。但是，由于空间数据的非结构化特点，传统的商用 DBMS 不能直接支持其存储和管理空间数据，难以组织以空间数据为基础的处理事务。

（2）空间数据的分布式处理开始出现。这一代 GIS 软件普遍支持局域网上的客户端/服务器（Client/Server, C/S）结构，系统由单机、单用户转向多机、多用户，形成了以项目为基础的团队工作体制。多个用户可以在系统的控制下从事各自不同的工作，共享同一个空间数据库和同一个属性数据库，系统规模有了明显的扩大，由此带来了 GIS 技术应用向深度和广度发展，由传统的资源环境领域迅速地向其他领域扩展。但是，这一阶段的 Client/Server 还是初等的，基本上属于 Device-Shared 类型和主从结构。通常 Server 只有一级，与 Client 交换数据往往限定在图层级，为保证多用户下空间数据的完整性，空间数据上锁的粒度很大（图层），数据更新基本上采用异步方式。基于 Web 技术的浏览应用开始出现。

第二代 GIS 软件的出现标志着 GIS 开始跟上信息技术发展的步伐，进入了成熟的阶段。商品化的 GIS 软件正式进入了传统的软件市场。

3. 第三代

第三代 GIS 软件出现于 20 世纪 90 年代的中后期，其生命周期在 10 年左右，一直延续到 21 世纪。进入 20 世纪 90 年代，信息技术的发展十分迅速，其中最引人注目的是面向对象的软件构造技术和广域网，特别是互联网（Internet）技术的发展和普及。面向对象技术以数据抽象和信息隐蔽为主要特点，实现了数据及其上面的操作的有机集成，完成了传统软件构造中模块之间的参数传递向功能传递的扩展，实现了软件开发由面向过程向面向客观存在的事物的过渡。Internet 技术则将网络技术带入了千家万户，网络应用已经深入社会生活的各个方面，在技术上实现了“全世界计算机联合起来”。遥感、卫星定位技术的发展极大地提高了人类获取空间信息的能力。这个时期的地理信息软件呈现出一些新的特点。

（1）组件化。第三代 GIS 软件普遍采用面向对象的软件技术，利用商用的软件构造工具，实现了 GIS 的组件化结构，极大地提高了支持二次开发的能力，模糊了软件平台和应用系统之间的界线。人们可以利用传统的软件开发语言和空间数据处理组件方

便地构造自己个性化的应用软件系统,实现了系统的灵活配置,对提高应用软件的可靠性也有积极的促进意义。尽管在组件粒度的选择和搭配、组件查询机制等方面还有待于进一步提高,但这无疑是一个具有历史意义的突破。

(2) 空间数据和属性数据的一体化存储。第三代 GIS 软件或采用商用 DBMS 的扩充功能、或自行在传统的 DBMS 的基础上扩充其数据管理能力,普遍实现了空间数据和属性数据的一体化存储和一体化查询。这种一体化技术实现了数据管理的规范化和数据操纵的标准化,带来的最大好处是用户将可以比较方便地组织各类空间信息处理事务,在数据完整性和一致性方面提供了有效的保证。尽管在存储效率和检索速度方面还有不尽如人意之处,一体化程度也不高,但技术的进步和使用的便捷是毋庸置疑的。

(3) 浏览器/服务器结构。Internet 技术,特别是 Web 技术的发展和跨平台软件技术的发展,使得计算机应用系统迅速由 C/S 结构转为浏览器/服务器 (Browser/Server, B/S) 结构。B/S 结构模糊了系统的界线,实现了最终用户端软件的零维护,其好处是显而易见的。第三代 GIS 软件普遍采用 Web 和“软总线”技术,一方面实现了以浏览、查询为主的应用系统的 B/S 结构;另一方面实现了多级服务器和多用户协同工作方式,使应用系统的构建跨越了地域的限制和规模上的限制,为 GIS 由以系统为中心转向以数据为中心的过渡打下了坚实的基础。超大型应用系统(成百上千用户)已经开始出现,特别是将空间信息及其应用与人们的日常生活紧密联系,真正将 GIS 带入了主流软件的队列。

(4) “3S”(GIS、RS、GNSS)集成。遥感技术(remote sensing, RS)是迄今为止人类获取空间数据规模最大、时间最短的技术,全球导航卫星系统(global navigation satellite system, GNSS)可以帮助人们快捷地获得地球表面任意物体的空间位置信息。但是,作为重要的空间数据获取技术,它们只有和 GIS 技术结合,才能产生广阔的应用意义。第三代 GIS 软件开始注重“3S”的集成,实现了矢量、图像某种程度上的一体化存储、叠加显示和矢-栅数据的相互转换,尽管这种集成还是相当初步的,但已经在实际应用中产生了积极的意义。

1.2 目前 GIS 存在的主要问题

1960 年,加拿大测量科学家 Roger F. Tomlinson 指出“要把地图变成数字形式的地图,便于计算机处理和分析”,为 GIS 的发展提出了明确的要求和方向。纵观 30 余年来 GIS 软件总体技术的演变过程,正是沿着 Tomlinson 指引的方向一步一步地发展,就像计算机之父 John Von Neumann(约翰·冯·诺依曼)的设计思想主导了电子计算机体系结构 50 余年一样。不可否认, Tomlinson 的指导思想在很长一段时期内产生了积极和巨大的作用。迄今为止,尽管在体系结构和技术实现上不断进步,三代 GIS 软件都是以地图处理为基础的,也可以说,都是属于传统的“Tomlinson 型”。但是,随着微电子技术和计算机技术的迅猛发展,传统的 GIS 体系结构已经不能完全适应新的应用要求。当前 GIS 主要存在以下几个方面的问题。

(1) 在存储技术上,传统的 GIS 采用两库结构,即空间数据库和属性数据库分立。究其原因,是因为传统的关系型数据库只能处理结构化数据,对非结构化数据缺乏有效

的处理手段。因此, GIS 软件将大量的工作放在空间数据模型的组织、空间数据的存储和访问方面, 形成独立的空间数据管理系统。最近几年, 数据库管理系统厂商拓展了数据管理的范围, 使传统的 RDBMS 也能对空间数据加以管理、进行检索和查询。第三代 GIS 软件在形式上实现了空间、属性数据的一体化存储, 也实现了初步的一体化查询。但是, 这部分增加的空间数据管理功能并没有与传统的结构化数据管理完全、有机地融为一体。特别是在如何组织空间数据的存储结构以利于提高检索速度和减少存储量、实现空间数据查询优化、多角度的空间、属性数据互动、空间实体之间关系的动态维护等方面, 还需要做很多的工作。

(2) 在数据组织与处理模式方面, 传统的 GIS 仍然按照 Tomlinson 的思想, 沿袭地图处理的模式。在实现上, 将空间数据组织成物理实体(点、线、面等)、图层、地图和图库几个层次。在处理上, 以图层作为处理的基本单元, 拓扑关系、位置和距离计算、编辑、叠加、缓冲和网络分析等都是面向图层的, 只能在图层一级进行。在不同图层之间的空间实体模型中, 缺乏不同空间尺度的对象之间的互动关系, 不同分辨率的空间影像数据同样缺乏彼此间的互动关系, 空间数据的组织和管理、分析基本上都在“尺度割裂”的状态下进行。在处理模式上, 基本上是面向过程的。虽然面向对象的组件化结构解决了一部分问题, 但数据组织方面的局限限制了直接面向问题的处理实现; 在空间数据处理分析方面, 基本上没有引入知识工程的技术。

(3) 在网络和分布式环境下的系统组成方面, 传统的 GIS 支持树型的系统结构和主-从工作模式, 上下级的数据交换基本上是以图层为单位进行。在多用户进行实体编辑和更新时, 由于对空间实体之间关系的动态性认识和分析不够全面和彻底, 缺乏为了保证数据完整性所必需的有效的同步处理技术, 实体封锁基本上采用静态方式处理, 封锁粒度较大, 基本上采用“长事务”的方式来组织编辑和处理, 导致“原子事务”的组织不合理。空间数据的分布式存储、分布式处理问题并没有得到真正的解决。在 Client/Server 处理方式已经十分普及的今天, 在 GIS 领域, 实际上还没有真正意义的远程过程调用(remote procedure call, RPC), 还是采用 Device-Shared 方式, 当然更谈不上在 B/S 方式下的 RPC 和“对等”的工作模式了。

(4) 在空间数据管理范围方面, 目前的 GIS 可以比较有效地处理二维空间数据, 并能较好地处理数字高程模型(digital elevation model, DEM)数据, 实现三维实体的表面显示。但是总的来说, 目前的 GIS 软件还是面向二维的, 对三维空间数据和时序数据缺乏有效的处理手段, 更难以组织和处理包括空间数据在内的多维数据。目前 GIS 领域只限于属性数据的挖掘和知识发现并辅以空间显示, 以空间数据为基础的数据挖掘还难以有效地开展。

(5) 在数据共享和功能共享方面, 虽然目前开始注意元数据问题, 已经解决了不同格式空间数据之间的转换问题, 可以实现有缝的数据共享。但是, GIS 功能共享和互操作问题尚未得到解决, 以系统为中心的问题还没有得到根本的克服。

(6) 实现了 GIS 的组件化结构, 在应用开发方面提供了组件式开发, 提高了支持二次开发的能力。随着应用的深入, 面向组件技术的不足也显现出来: 细粒度的组件与紧耦合的系统结构, 导致局部需求更改后, 仍有大量系统修改, 不能满足业务敏捷的需要; 另外, 面向组件还在实现并发管理、事务处理、通信协议、版本控制和安全等方面

存在困难或具有较高的复杂度。组件化程序设计技术对计算机程序员技术水平要求较高,不能机械化生产,主要靠程序员手工编程,也使得软件开发对程序员依赖性非常强。

纵观这三代 GIS 的技术特点,目前 GIS 软件所存在的共性问题主要包括(方裕等,2001) 以下几个方面:

- (1) 以图层为基础的处理模式,大范围跨图幅处理能力弱;
- (2) 基本是二维的空间数据组织和管理,难以处理三维问题;
- (3) 静态、单时相的空间数据组织和管理,限制了动态分析决策;
- (4) 空间数据尺度割裂,单一比例尺数据处理;
- (5) 基本上以系统为中心,不同系统、软件之间壁垒分明,难以实现数据共享、交互;
- (6) 对影像数据管理和处理能力弱,难以适应遥感技术迅速发展的形势;
- (7) 空间事务处理、组织能力弱。

上述问题出现的原因:一是 GIS 理论与软件技术发展的历史较短,其技术发展往往滞后软件主流技术一段时间;二是空间数据组织和空间关系相当复杂。具体来说,主要表现在以下几个方面:

- (1) 处理方式停留在面向过程,而不是面向问题;
- (2) 多用户条件下空间数据的同步处理机制尚未形成;
- (3) 空间数据模型与组织面向地图,而不是面向客观存在的空间实体及其时空关系;
- (4) 空间数据与属性数据的联系薄弱,仅仅通过标识码实现,难以体现复杂的时空关系,适应管理但不适应分析与决策;
- (5) 对影像数据的数据结构问题研究不够;
- (6) 空间数据查询能力不强,空间数据和属性数据的联合操纵能力弱;
- (7) 不同尺度空间数据之间联系薄弱,缺乏有效的互动机制;
- (8) 缺乏各类标准。

1.3 新一代 GIS 的提出

随着人类获取空间数据的手段和能力的不断提高,地图作为空间数据进入 GIS 的主要中介作用将越来越弱,最终将回归到 GIS 处理、分析结果的表现形式之一。我们的目标应该是把地球(即使是一部分)存入计算机,并设计和实现相应的数据组织和操纵手段,而不是简单地地图存入计算机。日益扩大的地理信息共享和应用需求呼唤着新一代 GIS 软件的出现。在 GIS 领域,目前正在朝着以数据为中心、多维处理和分析决策型这个理想的目标一步一步地前进。新一代 GIS 软件的技术体系将包括面向空间实体及其时空关系的组织与融合、统一的海量存储、查询和分析处理、有效的分布式空间数据管理和计算、一定的三维和时序处理能力、强大的应用集成能力、灵活的操纵能力和一定的虚拟现实表达等方面。

具体说来,新一代 GIS 软件应该在不同程度上具有以下几个方面的特点。

1. 面向服务的体系架构

空间信息资源具有分布性、异构性、基础性、共享性和综合性等特点,并由不同行业和组织机构所拥有。目前的地理信息系统都是采用“面向系统”的体系架构,这些系统规模大而复杂,开发周期长,维护困难而且成本高,扩展性差;系统中的功能很难单独的升级和替换;各个系统的数据和功能不能为另一个共享,没法实现信息的互联、互通、互操作,从而形成了一个独立的“信息孤岛”。此外,各种空间信息服务的单一化,也造成了信息服务的门槛问题,已经不能适应用户对空间信息多样化服务的要求。

如何建立一个开放、可扩展的空间信息服务支撑平台体系结构,以满足对各类网络资源的共享与集成需求,已成为空间信息服务研究的一个核心问题。新一代 GIS 应首先研究和建立面向服务的体系结构和机制,能有效地构建大型分布式多源空间信息服务的底层支撑平台,并为其业务应用提供支持。在面向服务的体系架构支撑下,搭积木式的“组装软件”的梦想得以实现,软件的开发和维护变得简单。

2. 面向空间实体及其相互之间关系的数据组织、存储、查询和处理

传统 GIS 数据的主要来源是纸质地图,通过数字化途径存入计算机。系统是通过这种数据获取手段来设计数据组织和处理模式的,因此都是面向地图的。显然,图幅、比例尺成为重要的概念和处理的基础。数据获取手段的发展使人们不再需要经过纸介质就能直接获得数字形式的空间数据,图幅、比例尺这类由地图派生出来的概念不再应该是数据组织和处理的先决条件。新一代 GIS 软件在数据组织和模式处理上,应该改变以地图为基础的模式,不再将各类空间计算局限在图层范围内进行,而是直接面向客观世界中的空间实体及其相互关系,在人们感兴趣的范围内进行计算。这种范围既可以是连续的空间区域,也可以是离散的空间实体集合;既可以是同种比例尺的,也可以是不同比例尺的;既可以是同一时段的,也可以是不同同时段的。

这就要求新一代 GIS 软件在数据组织、存储、检索和运算等方面发生革命性的变革。数据组织应该是面向空间实体的,空间位置只是实体众多属性中的一类,它应和其他属性有机地组织在一起并统一存放;“关系”概念和“关系运算”应该加以扩充,包括空间关系及其运算;传统的结构化查询语言应该扩充,把空间关系及其查询包括在里面;以倒排表为基础的数据库索引机制应该扩展,建立至少包括拓扑关系在内的新的索引机制;数据存储机制应该适应空间数据提取和计算的要求等。只有实现数据真正的一体化存储和处理,才能自由地、方便地、快速地完成人们所期望的处理功能。

3. 实现空间数据共享和功能共享

空间数据共享即同一空间数据可以被不同的用户所使用。它具有以下的特征:
① 用户对数据的使用应不受地理位置的限制;
② 对数据的使用应不受用户所使用的软件系统的限制;
③ 用户应没有明显时间上的滞后。空间数据的广泛共享具有明显的合理性,因为它:
① 避免了数据的重复生产;
② 避免了大量冗余数据的产生;
③ 增强了数据使用的实时性;
④ 鼓励对以前产生的数据的再利用。

空间数据共享目前在实际应用中还存在着较大的障碍。这主要来源于技术和政策两

个方面,从某种意义来讲,政策方面相对于技术方面的困难可能更大,在此我们不做讨论。从技术角度来讲,所存在的问题可以归纳为以下两点:① 空间数据描述模型的差别;② 传统 GIS 技术的局限性。

对空间数据的描述是实现空间数据共享的前提。人们对现实世界认识的不同以及对目标概念的定义、数据的分类、组织方式、逻辑存储等的不同,使得采取的描述模型各式各样。尽管有关部门已经制定了或正在研制一些基础数据的技术标准规范,如基础地理信息术语、基础地理信息更新技术规程、基础地理信息描述标准等,但现有众多的基础地理数据在描述上仍有较大区别。同时,各种面向工程的 GIS 在目标描述、系统建立与维护(包括数据库内容、质量、特征信息的元数据)方面越来越本位化,这对基础地理数据的共享也提出了不同的要求。

传统的 GIS 软件种类繁多,不同系统有自己的空间数据组织模型,不同系统之间数据不能通用,功能组织也各不相同,形成了许多大大小小的数据孤岛和功能孤岛,共享十分困难。近年来,人们开始重视元数据的重要性,研究并开发不同系统间的数据转换软件,谈论不同 GIS 之间的互操作问题,并出现了 OpenGIS 这样的抽象规范。可扩展标记语言(extensible markup language; XML)在 GIS 领域的应用研究也在进行。世界是多样化的,不可能全世界只存在一类 GIS 软件。新一代 GIS 软件应该支持相同的抽象数据类型集合,不同系统之间的数据可以无缝转移、实现互操作。这样,所有的 GIS 不仅在物理上可以互联,也可以在内容上实现互联,真正做到数据共享和功能共享。

为了实现这一目标,必须研究并制定可行的元数据标准和统一的抽象数据类型定义规范,研究多粒度 GIS 软件对象的划分和对象组合规则、检索机制,确定抽象数据类型集合及其层次结构,研究并制定 GIS 之间的通信协议集,包括数据请求协议集、数据传输协议集和功能请求协议集等。只有这样,才能有效地解决空间数据共享与功能共享问题,实现互操作。

4. 实现有效的分布式空间数据管理和计算

分布式计算是 GIS 软件的弱点。由于空间数据的复杂性和特殊性,空间分布式计算落后了很大一段距离。在这个问题上,新一代 GIS 软件应该有所作为。存储模式和处理模式的变革,使空间数据的分布式计算有可能取得突破性进展。新一代 GIS 软件应该实现空间数据的 RPC,解决多用户空间数据操作同步条件下的数据完整性问题,实现分布式条件下空间事务组织与管理,真正实现空间数据的分布式计算环境。

为了实现这个目标,需要研究并解决涉及复杂空间数据结构参数传递技术,提出空间实体的动态锁定方法;研究并建立空间信息代理,包括数据代理和服务代理的机制;解决并实现空间数据处理事务的“两阶段提交”技术;提出设置空间数据副本和解决副本一致性的办法等。只有这样,才能有效地实现分布式的空间数据管理和计算。

目前,分布式对象技术已经成为建立服务应用框架和软件构件的核心技术,在开发大型分布式网络 GIS 中表现了强大的生命力。

5. 具备初步的三维处理能力和时序空间数据处理能力

随着信息技术的不断发展和计算机应用的不断深入,越来越多的应用领域迫切要求