

第四代 GIS 软件研究

方 裕^{1),2)} 周成虎¹⁾ 景贵飞³⁾ 陆 锋¹⁾ 骆剑承¹⁾

¹⁾(中国科学院资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101)

²⁾(北京大学计算机科学技术系, 北京 100871)

³⁾(科学技术部高新技术与产业化司, 北京 100045)

摘 要 地理信息系统是国家空间数据基础设施建设的重要组成部分,对国民经济建设和国家安全有着重要的意义.文中总结了 GIS 软件的发展历史与技术特点,结合 IT 技术的发展,指出了现有软件存在的不足,并分析了技术原因;概括了第四代 GIS 软件的研究目标和技术体系,提出了发展我国第四代 GIS 软件步骤的建议.

关键词 GIS 面向对象 OPENGIS 元数据 空间数据 互操作

中图法分类号: P208 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2001)09-0817-07

Research of 4th Generation GIS Software

FANG Yu^{1),2)}, ZHOU Cheng-hu¹⁾, JING Gui-fei³⁾, LU Feng¹⁾, LUO Jian-chen¹⁾

¹⁾(LREIS, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101)

²⁾(Department of Computer Sci. & Tech., Peking Univ., Beijing 100871)

³⁾(Department of High and New Technology and Industrialisation, The Ministry of Science and Technology, Beijing 100045)

Abstract GIS is an important aspect of NSDI. It will directly and deeply affect the national economy construction and national safety. Comparing the progress of IT, the progress history and technical characteristics of GIS software are concluded in this paper. Also, the weakness of existing GIS software is pointed out and the technical reasons are analyzed. Furthermore, this paper presents the research objective and technology architecture of 4th generation GIS software. The layer-oriented processing should be changed to spatial objects and their relationship-oriented. The synchronization multi user spatial data processing mechanism should be established. The 3-dimension spatial data model should be studied. Spatial data mining ability should be increased. Also, the 4th generation GIS should manage and process mass spatial data up to TB level and should support VR presentation. The steps of developing 4th generation GIS software in China are suggested in this paper.

Keywords GIS, Object-oriented, OPENGIS, Metadata, Spatial data, Inter-operability

0 引 言

地理信息系统是一类获取、处理、分析、表示;并在不同系统、不同地点、和不同用户之间传输数字化空间数据的计算机应用系统^[1]. 空间位置、属性及时间是地理空间分析的三大要素^[2]. 由于地球上 80% 以上的信息与空间位置有关,因此它应该成为在操

作系统、数据库管理系统之上的主要应用集成平台,占据软件产品的主流地位.

但是,目前 GIS 软件在技术上并不能适应飞速发展的应用要求,尤其不能适应“数字地球”和“数字城市”、“数字区域”建设中数据集成和功能集成的需要. 认真研究现有 GIS 理论与软件实现技术的不足;寻求理论、方法、技术和工具这 4 个层次的突破和创新,已经成为当务之急.

1 地理信息系统软件发展的历史回顾

自从1960年加拿大测量学家 Roger F Tomlinson 提出“要把地图变成数字形式的地图,便于计算机处理与分析”的观点以来,就一直是研究与发展 GIS 软件的指导思想.纵观 GIS 发展 30 多年的历史, GIS 软件技术及其应用取得了巨大的发展,但也存在着严重的不足.从技术层面着眼,其发展大致可以分成 3 个阶段:

1.1 第一代

从 60 年代中期到 80 年代的中后期,是 GIS 软件从无到有、从原型到产品的阶段.由于各种条件,包括自身理论和实现技术的不成熟和 IT 技术的限制,这一阶段的 GIS 软件存在许多不足,其基本技术特点为:

(1) 以图层作为处理的基础

当时 GIS 系统中空间数据的主要来源是纸质地图的数字化,在 GIS 的数据模型中,图层处于中心地位.定义某一地理轮廓,在此范围内的相关(专题)空间数据组成图层,同一图层的空间数据存放在一个文件之中.空间定位与量算以图廓范围内的平面笛卡尔坐标系为基础,操作局限于当前图层内.利用计算机技术可以计算空间实体之间的拓扑关系,实现同一区域内各种专题数据的叠置、影响区域分析(缓冲)和线状实体的路径分析.但是,各类查询与计算只能在同一图层中进行.

(2) 以系统为中心

当时的 GIS 软件空间数据各自有自己的数据格式,自成系统,不同的 GIS 系统基本上没有联系.与其他的软件工具,例如 MRP II 软件、CAD 软件等在数据和程序上不存在集成关系.

(3) 单机、单用户

由于 IT 技术的限制,当时的 GIS 系统只能在单机上运行,尽管在后期 X 协议和 X 终端已经普遍使用,但由于不能描述空间数据及其操作,这时的 GIS 软件无法实现分时操作模式.

(4) 全封闭结构,支持二次开发能力非常弱

当时的 GIS 只提供功能极其有限的供查询和计算的自定义语言,与数据库、通用的编程语言没有建立联系.用户只能按照已经开发好的应用系统功能接口操作,或者联机地、一步一步地完成自己预定的计算任务,而无法连贯地、批量地实现复杂的自定义应用功能.

(5) 在主要实现技术上,以文件系统来管理空间数据与属性数据

GIS 中的数据分为空间数据和属性数据两类.空间数据描述空间实体的地理位置及其形状;属性数据则描述相应空间实体有关的应用信息.由于当时数据库管理系统只能管理结构化数据,对空间数据这样的非结构化数据无法进行定义、管理与操纵, GIS 软件只能在文件系统中自行定义空间数据结构及其操纵工具.由于最初关系型 DBMS 不够成熟与普及,对属性数据这样的结构化数据,也放在文件系统中进行管理,空间数据、属性数据两者之间通过标识码建立联系.

(6) 应用领域基本上集中在资源与环境领域的管理类应用.

1.2 第二代

从 80 年代末到 90 年代中期,是 GIS 软件成熟和应用快速发展的时期.这一阶段, GIS 软件作为一种软件工具,理论与技术已经基本成熟.由于其具备空间数据操纵能力,在应用中受到青睐,应用领域迅速扩展.这个时期,网络技术已经成熟并广泛应用,巨大的应用前景也对 GIS 软件提出了各种各样的要求, GIS 软件实现技术得到了迅速发展.但是, GIS 的基本技术体系仍然没有发生根本的变化,其技术特点为:

(1) 以图层作为处理基础

由于空间数据模型没有根本的变化,以图层为处理基础的模式依然没有变化.对属性数据的查询可以在数据库范围内进行,但对空间数据的操作仍然限制在同一图层之内.在 GIS 应用系统事先定义的应用功能以外,大量的应用问题求解只能采用人工的步进操作方式.

(2) 引入网络技术,多机、多用户

由于这一阶段网络技术已经成熟,应用范围迅速扩大, GIS 软件也转向多用户和 Client/Server 结构.但是,由于空间数据组织和存储模式没有根本变化, Client 与 Server 的关系基本上属于空间数据文件下载和回送的关系,基本的空间数据处理功能在 Client 端实现.其是一种典型的“胖 Client”类型. Server 只作空间数据的服务器使用,以 NFS 技术为基础,只能实现一种 Device-Shared 的 C/S 结构.

(3) 以系统为中心

GIS 应用系统仍然是自成体系,不同系统之间空间数据的交换能力有所提高,并以数据转换为主

要手段。由于属性数据利用商用 DBMS 来管理,因此可以利用标准的结构化查询语言来进行操纵,通过属性的综合查询结果显示相应的空间图形,数据操纵能力有所增强。另一方面,可以以属性数据库为纽带与其他系统建立联系,与其他系统的集成能力略有增强,但仍然比较弱。

(4) 支持二次开发的能力有所增强

由于通用编程语言的编程环境逐渐完善,GIS 提供的编程接口(API)可以嵌入应用系统的程序,例如,系统定义的 GIS 功能程序可以以库函数的形式出现,通过“Include”方式供应用程序调用。这一阶段的 GIS 系统支持二次开发的能力有所增强,但灵活性仍受到较大的限制。

(5) 以商用 DBMS 管理属性数据,但空间数据仍用文件系统管理

这一阶段的 GIS 软件用商用 DBMS 管理属性数据,但仍用文件系统管理空间数据,空间实体位置与其属性通过标识码建立联系。这样,就可以利用商用 DBMS 提供的强大数据管理功能,数据管理能力大有提高,特别是为建立空间数据库的工作提供了许多方便,建库能力大有提高。但是,涉及空间数据的管理与操纵仍然无法利用商用 DBMS 提供的强大功能。

(6) 应用领域开始有较大范围的扩展,但基本上是管理类应用。

引入空间数据的优越性越来越为人们所认识,GIS 的应用范围迅速从资源环境领域向外扩展。城市规划与公用设施管理;电力、电信管理;交通管理等许多领域成为 GIS 应用的新热点。规划、布点、选址、路由选择等分析决策应用开始出现,但基本上还是以管理类应用为主。

1.3 第三代

90 年代中期开始,估计将延续 10 年或稍长的时间。这一阶段 IT 技术的突出进步是网络技术,特别是 Internet 在全球的普及以及面向对象软件方法论和支撑技术的成熟,为 GIS 软件的技术进步注入了新的活力。GIS 逐渐渗透到人类生活的各个方面,迎来了 GIS 应用高速扩展的时期。大量的应用要求驱使 GIS 软件技术快速发展,开始具备作为应用集成平台的能力。其基本技术特点为:

(1) 仍然以图层为处理的基础,但面临不断演化

虽然空间数据的存储引入了新的技术,但空间

数据模型仍然没有很显著的变化。商用 DBMS(如 Oracle、Informix、DB2、SQL SERVER 等)相继实现了对空间数据的管理,尽管还不够完善,空间数据的管理手段还是有了明显的提高。但是,由于 DBMS 对空间数据的操纵手段还比较原始和初等,加上 GIS 在设计思想上没有突破地图的限制;适合空间数据处理的中间件相当缺乏,因此以图层为处理基础的局面并没有得到根本的变革,Client 端上空间处理仍然以图层下载为主要桥梁。但是,随着 GIS 应用的多样化,以图层处理为基础所带来应用上的不便与弊端为越来越多的人所认识,新的处理模式正在酝酿与试探之中。

(2) 引入了 Internet 技术,开始向以数据为中心的方向过渡,实现了较低层次的(浏览型或简单查询型)的 B/S 结构

由于 Internet 技术和 Web 技术的成熟与大规模普及应用,GIS 开始面向传统行业和广大民众,并逐渐向以数据为中心的方向过渡。WebGIS 走向成熟,已经成为 GIS 应用的一种重要方式,空间信息应用的 B/S 结构已经出现。但是,由于对空间数据的操纵手段比较弱,难以实现复杂的一体化操作。目前这类系统基本上是浏览型或功能相对简单的查询型系统。完全操作型的系统尚未出现。

(3) 开放程度大幅度增加,组件化技术改造逐步完成

面向对象软件方法论的成熟,体现面向对象的软件开发工具逐渐普及。其中最突出的是软插件技术,软件系统组件化已经成为一种趋势。国外主要的 GIS 软件在 20 世纪 90 年代中期开始进行组件化改造,并在 20 世纪末相继完成。这样,GIS 软部件可以与主要的跨平台编程工具结合,作业控制语言可以在软部件基础上组织复杂应用,GIS 软部件也可以作为各种应用软件的功能部件出现。至此,GIS 软件的开放性大幅度提高,融入了主流软件,实现了跨平台运行的夙愿。

(4) 逐渐重视元数据问题,空间数据共享、服务共享和 GIS 系统互连技术不断发展 GIS 软件的广泛应用,空间数据和 GIS 服务功能的共享提到了重要的议事日程。属性数据的共享由于 ODBC 的出现已经解决,不同 GIS 系统之间空间数据的共享已经不满足于数据的互相转换,空间数据的元数据问题受到越来越多的关注^[3],GIS 功能标准化的问题也倍受重视,不同 GIS 系统之间互操作成为突出的问

题^[4]。开放 GIS 组织(ODC)提出了开放地理信息规范(OPENGIS)^[5],旨在解决空间数据的继承、共享以及地理操作的分布与共享,对 GIS 开发平台提出了更高的要求。可以预计,各类空间数据引擎、适应多种 GIS 软件的功能代理会在较短的时间内出现。OPENGIS(应该还会有改善和提高)就像 ODBC 之于数据库,将成为空间数据操作的统一标准。

(5) 实现空间数据与属性数据的一体化存储和初步的一体化查询,并将不断完善第三代 GIS 软件实现了用商用 DBMS 实现空间数据和属性数据的一体化存储和初步的一体化查询,提高了空间数据的操纵能力^[6,7]。多源空间数据仓库技术也将在未来两三年内逐渐成熟。但是,由于目前对空间关系的理解和表达形式还没有一个完整的、确定的框架,空间信息的完整性、一致性研究有待深入,目前的空间数据、属性数据一体化查询语言还比较初等,表达能力还比较弱,完善和提高尚需时日。

(6) 应用领域迅速扩大,应用深度不断提高,开始具有初步的分析决策能力。

随着 GIS 应用需求的急剧扩大,大量的 LBS (Location Best Service) 应用为 GIS 注入了新的活力,开拓了广阔的市场;GIS 进入 AM/FM 领域导致出现异步更新的协同工作环境。各类分析决策需求、甚至三维应用要求也摆在应用开发的面前。第三代 GIS 软件一般将此类应用问题放在应用层面来解决,在没有探索出一种公共模型的情况下,这种做法不失为有用之道。但是,这必然是就事论事,缺乏一般性。在数据挖掘已经广泛使用的今天,完整意义下的空间数据挖掘还没有出现,更多的是对属性数据进行挖掘,辅以简单的空间显示。

2 存在的问题以及原因分析

2.1 目前 GIS 软件存在的共性问题

归纳起来,目前 GIS 软件存在的主要共性问题包括:

(1) 以图层为处理的基础,处理能力,尤其是大范围、跨图幅区域灵活处理能力较弱。由于目前 GIS 软件不能实现跨图幅的计算,多图幅的空间运算必须首先将涉及的图幅拼成一个新的图幅后才能进行,批量运算的能力大受限制。

(2) 二维的空间数据组织与管理,限制了应用范围。目前 GIS 空间数据模型及其操作的设计在空间上是面向平面二维结构的,实质上并没有三维处理的

能力。实际应用中出现的三维问题或是针对具体问题通过在属性数据中定义附加数据项针对具体问题进行处理,或是采用三维实体表面造型的方法解决类如地形地貌的表现问题,处理能力非常有限。

(3) 静态、单时相空间数据组织与管理,限制了分析决策事务的实现。GIS 延续了地图处理的模式,只能处理单时相的空间数据,虽然可以有一定的地域分析处理能力,但对于涉及空间数据挖掘,例如切片、钻取等以探索动态的变化趋势寻求发展规律等分析决策事务显得无能为力。

(4) 空间数据尺度割裂,单一比例尺数据处理,不同尺度空间数据的互动关系弱。比例尺是地图的基本属性,GIS 沿袭处理地图的模式,只能进行单一比例尺空间数据的处理,甚至将为地图出版而进行的地球表面投影平面化处理结果作为空间对象存储的基础。不同尺度的空间数据之间基本上没有互动关系,同时,也将长期以来困扰地图处理的许多问题带入了 GIS。

(5) 基本上以系统为中心,不同系统之间壁垒比较分明,数据共享与服务共享困难。在三十多年的时间里,形成了许多 GIS 软件,他们在不同的环境中独自发展,有自己的文化背景、领域背景和技术背景,形成了自己的数据模型和功能组织结构。虽然在功能闭包和问题描述能力方面大同小异,但实际操作上差别甚大,加上内部空间数据组织互相保密,形成了不同的壁垒,为数据共享和服务共享增加了许多困难。

(6) 影象数据管理与处理能力弱,跟不上大规模快速数据获取技术的发展。目前,大部分 GIS 软件处理矢量空间数据的能力较强,但影象数据的处理能力很弱,空间实体的识别和处理几乎不能自动进行。影象数据在 GIS 中基本上只能起到表面覆盖和场景渲染的作用,没有两者之间的互动关系,其不能形成一体化处理的能力。

(7) 空间事务处理组织能力弱。由于对空间实体之间的关系缺乏完整的描述框架,在 GIS 空间数据模型与组织方面存在不少问题。事务处理时空实体的封锁粒度甚难把握,基本上采用图层封锁的办法,难以组织有效的原子事务和嵌套事务机制,直接影响了 GIS 复杂应用的操作难度。

2.2 原因初探

上述问题的出现有其必然的原因。总的说来,一是 GIS 理论与软件技术发展的历史较短,作为一类

应用软件,技术发展往往滞后软件主流技术一段时间;二是空间数据和空间关系相当复杂,缺乏完善的模型,其组织和处理要比目前大多数应用软件困难得多,其中许多方面目前还没有找到有效的方法。就具体原因而言,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。主要表现在缺乏形式化的模型表达手段,涉及空间数据处理的程序综合研究甚少,提供的工具以面向过程为主。

(2) 多用户条件下空间数据的同步处理机制尚未形成,由于空间数据结构的复杂性,实现上使用了大量的指针类型,在跨机参数传递上存在许多困难,不仅不能实现真正意义上的协同工作,甚至连传统意义上的 RPC 也没有实现。

(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。在 GIS 中,作为一个整体的地球表面被人为地分割成许多相对独立的经投影变换后的平面部分,引起了一系列处理上的困难。

(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,对于整体存储,存储的方式、手段过于简单,基本上无法建立有效的索引机制,导致矢量、影像数据之间无法建立有效的联系手段及互动关系。

(6) 虽然使用了商用 DBMS 管理空间数据,但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基本上没有联系,缺乏相互之间的互动机制。

(8) 各类标准缺乏。

3 第四代地理信息系统及其发展思路

综上所述,目前 GIS 软件仍然是 Tomlinson 型的,基本上只适用于地图处理,由于许多关键技术尚未突破,目前 IT 领域中许多行之有效的处理机制与实现技术还没有在 GIS 软件中得到充分体现。随着 GIS 应用领域的不断拓展,现有的设计思想、体系结构和数据组织已经不适应应用发展的要求。尽管地图长期以来是我们认识空间世界的一种主要且有效的工具,但确实存在着许多固有的缺陷。GIS 为我们提供了全新的管理、使用空间信息的手段,随着

人类获取数字化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 系统的主渠道作用将会越来越弱,最终将回归到作为 GIS 处理、分析结果的表现形式之一。因此,GIS 没有必要再受到地图这种表现形式的制约。我们需要的不仅仅是将地图存入计算机,而是要将地球(哪怕是一部分)存入计算机,并以空间位置为框架集成各类信息。新一代 GIS 软件理论和技术必须有一个大的变革,才能适应需要。

3.1 第四代 GIS 软件的目标

第四代 GIS 软件应该具备支持数字地球(区域、城市)的能力,成为 OS、DBMS 之上的主要应用集成平台,实现由二维处理向多维处理的转变;由面向地图处理向面向客观空间实体及其时空关系处理的转变;由以系统为中心向以数据为中心,实现空间数据共享与服务的转变;由管理型向分析决策型的转变。

3.2 第四代 GIS 软件的技术体系

(1) 面向空间实体及其时空关系的数据组织与融合

改变以图层为基础的组织方式,实现直接面向空间实体的数据组织;实现不同尺度空间数据的互动;实现矢量、影像数据的互动;实现多维属性与嵌套表组织;实现多源空间数据的装载与融合,支持数据仓库机制;强大的索引机制。

(2) 统一的海量存储、查询和分析处理

包括支持 TB 级以上的空间数据存储;有效的空间、属性一体化管理、查询机制;面向问题的分析、处理手段和工具;以空间数据为基础的数据挖掘;联机事务处理(OLTP)与联机分析处理(OLAP);扩充的、支持空间的“关系”概念与“关系运算”。

(3) 有效的分布式空间数据管理和计算

包括多用户同步空间数据操作与处理机制;数据、服务代理和多级 B/S 体系结构;异种 GIS 系统互连与互操作;空间数据分布式存储与数据安全;空间数据高效压缩与解压缩。

(4) 一定的三维和时序处理能力

包括空间数据的增量存储与快速还原能力;时空数据处理与分析机制;混合式三维空间数据模型;快速广域三维计算和显示;数据空间化。

(5) 强大的应用集成能力

包括有效的遥感、地理信息系统、全球定位系统集成;强大的应用模型支持能力;GIS 与 MIS、特别是

ERP 的有机集成;GIS 与 OA 的有机集成;GIS 与 CAD 的有机集成;GIS 与 DCS 的有机集成;有一定实时能力、微型化、嵌入式 GIS 与各类设备的集成。

(6)灵活的操纵能力和一定的虚拟现实表达
包括多通道用户界面;数据空间化与可视化支持;一定的虚拟现实表达;模型定义语言及其支持机制。

3.3 软件体系结构

第四代 GIS 软件的核心部分是空间、属性数据的组织、管理、操纵、分析、表达以及与其他应用软件的集成接口(包括应用模型定义接口)。为了适应分布式处理和互操作的要求,还需要有大量的空间数据处理中间件,制定一系列的数据、服务传输协议。而空间数据的采集、加工与分析结果的制图输出等功能可以作为外围部件,与核心部分配套。体系结构如图 1。

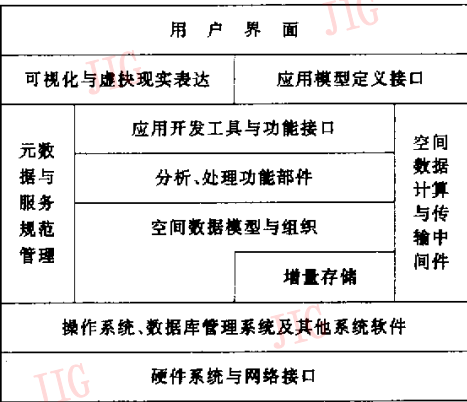


图 1 体系结构

这里,空间数据模型与组织是第四代 GIS 软件的关键,体现了新一代 GIS 的设计策略和实现方法学;空间数据元数据与服务规范、空间数据计算与传输中间件是系统的两大支柱,保证了 GIS 软件的开放性和标准化。它们集中体现了第四代 GIS 技术上的创新与跨越。

3.4 分阶段实现策略

第四代 GIS 软件的研究与开发是我国在这一领域攀登世界高峰的重要举措,具有重要的科学意义和巨大的应用前景。这项工作必须取得国家的支持和鼓励,在国家科技计划的统一安排和指导下,动员全国的力量,坚持科技创新和跨越式发展,加强学科交叉,走产业化的道路,有计划、有步骤地进行。

完整的第四代 GIS 软件的实现涉及理论、方法的研究与创新,既需要构建一个新的理论体系,又需

要有许多关键实现技术的突破,还需要工程化的软件实现,从而形成新的技术体系和新的产品,具有很高的难度,决不是可以一蹴而就的事情。因此,要抓住空间数据模型与组织这个关键,实施重点突破的方针,逐步完善各项机制,用渐进的方式实现第四代 GIS 软件的最终目标。

(1)采用企业机制,产品开发面向应用,发展产业

坚持产品开发与技术研究并重,工程化、实用化;依靠全国的力量开展联合科技攻关,建立产、学、研相结合,以企业为推广应用主体的科技创新体制。

(2)十分重视标准规范,标准先行

首先,要建立地球空间数据的元数据标准、GIS 功能与接口标准、空间数据共享标准、GIS 通信协议集等一系列标准规范,保证研究工作的顺利开展。

(3)总体规划、分布实施,分阶段实现目标

第 1 阶段:用两年左右的时间,建立标准规范,开展理论和技术的研究,开发有一定创新的新一代 GIS 软件原型。争取在数据模型、组织和分析处理机制方面有所突破;实现具有海量空间数据管理和查询、多用户同步机制和一定应用集成能力的 GIS 软件产品。

第 2 阶段:用 2~3 年的时间,争取突破以面向空间实体及其时空关系的研究;突破矢量、影象数据互动技术的研究,实现不同尺度空间数据互动的原理模型,形成较完整的软件原型;实现具有初步三维和时空数据处理能力、突破以图层为处理基础的模式;有一定的空间数据挖掘和初步虚拟现实表达能力、一定的影象、矢量数据融合的第四代 GIS 软件产品;同时对第 1 阶段的产品开展应用示范,结合应用和关键技术的突破改善其结构、丰富其功能。

第 3 阶段:用 3~5 年的时间,形成完整的理论、方法、技术和工具体系,实现完整的软件产品,全面达到第四代 GIS 软件的最终目标。

致谢:文章撰写过程中得到陈述彭先生的悉心指导,特此致谢。

参 考 文 献

1 GIS Standards and Standardization; A Handbook [R]. United Nations Economic and Social Commission for Asia and Pacific, New York, 1998; 1~3.
2 陈述彭, 鲁学军, 周成虎. 地理信息系统导论[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
3 Lance McKee. Building the GSDI [R]. The OpenGIS Conso-

rtium, August 1996: 37~52.

4 Open Geodata Interoperability Specification, OpenGIS simple feature specification for SQL[R], 1998:5~9.

5 The OpenGIS Consortium, OpenGIS abstract specification[R], 1998:121~135.

6 <http://www.oracle.com> [EB/OL]

7 <http://www.esri.com> [EB/OL]

方 裕 1946 年生,1968 年毕业于北京大学,现为北京大学计算机系教授.长期从事计算机软件工程、地理信息系统、计算机集成制造系统等方面的研究工作.

周成虎 1964 年生,博士生导师,国际欧亚科学院通讯院士,中国科学院资源与环境信息系统国家重点实验室主任.主要研究兴趣包括空间数据库挖掘与知识发现、地理空间单元相互作用、遥感影像的地理理解与分析等.

景贵飞 北京大学遥感 GIS 研究所硕士毕业,国家科技部高新技术发展及产业化司信息处副处长,国家遥感中心主任助理,数字地球国际会议秘书处副秘书长.

陆 锋 1970 年生,博士,副研究员.主要研究兴趣包括时空数据模型、空间索引、地理网络分析算法等.

骆剑承 1970 年生,1991 年毕业于浙江大学地球科学系遥感专业,现为中国科学院地理研究所资源与环境信息系统国家重点实验室博士生.主要研究方向为遥感图象处理、神经计算和进化计算、遥感地学分析、空间信息认知等.