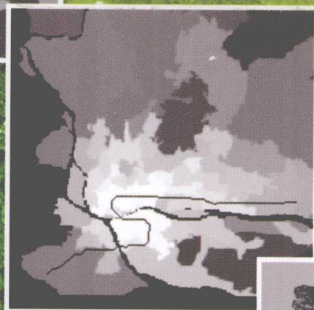
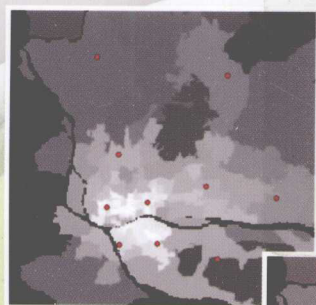




地理信息系统理论与应用丛书

智能式GIS与空间优化

● 黎 夏 刘小平 李少英 著



科学出版社
www.sciencep.com

地理信息系统理论与应用丛书

智能式 GIS 与空间优化

黎 夏 刘小平 李少英 著

国家自然科学基金重点项目 (40830532)
国家杰出青年基金项目 (40525002) 资助出版

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书提出较完整的智能式 GIS 的概念,并系统地介绍智能式 GIS 的实现方法。首先对人工智能的发展历史进行回顾,探讨人工智能与 GIS 的内在联系,介绍人工智能的基本原理、方法以及应用领域,对人工智能的一般算法进行描述。本书的特色是详细地介绍空间知识发现、地理模拟、空间优化与决策三大方向的研究内容,建立较完整的基于点、线和面的空间优化模型,提出模拟与优化耦合的实现方法,并初步设计基于耦合的地理模拟优化系统。书中以城市演变、土地利用变化以及地理空间分异等复杂地理现象的模拟为例,探讨基于多种人工智能算法(包括遗传算法、神经网络算法、蚁群智能算法、人工免疫系统)的智能元胞自动机和多智能体在城市演变规律等方面的应用,并详细介绍遗传算法、粒子群算法、蚁群智能算法和地理元胞自动机等人工智能算法与 GIS 的集成研究,及其在基础设施选址与空间优化等复杂问题中的应用。

本书适合于从事 GIS 的高校教师和科研所研究人员;GIS 专业以及城市规划等相关专业的研究生;计算机应用科学专业的研究生;参加 GIS 研究生入学考试的学生。

图书在版编目(CIP)数据

智能式 GIS 与空间优化/黎夏,刘小平,李少英著. —北京:科学出版社, 2010

ISBN 978-7-03-026767-2

I. ①智… II. ①黎…②刘…③李… III. ①地理信息系统-研究 IV. ①P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 021393 号

责任编辑:韩 鹏 刘希胜/责任校对:李亦莹

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>

源海印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 2 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2010 年 2 月第一次印刷 印张:17 3/4 插页:4

印数:1—3 000 字数:408 000

定价:58.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

自从地理信息系统 (Geographical Information System, GIS) 于 20 世纪 60 年代在加拿大诞生以来, GIS 技术经历了 40 多年的快速发展。GIS 从原来局限于土地测绘等政府部门的小范围应用, 到现在被各学科、各行业部门和企业的广泛使用。其发展趋势也经历了从强调“系统”本身的功能, 到强调推动技术发展的“科学”, 到现在的为大众普及“服务”的侧重点的转移。

但是, 随着 GIS 在地理学及其他领域应用的深入, 对 GIS 的空间分析功能提出了更高的要求。由于空间信息的日益丰富和空间决策问题的日益复杂, 在 GIS 的应用中, 我们遇到了许多新的困难和障碍。首先, GIS 储存了大量的空间数据, 隐藏了许多有用的信息, 需要高级的空间分析工具才能提取出这些有用信息; 另外, GIS 不仅应该提供简单的查询和显示的功能, 也应该提供对许多地理过程进行深入分析的工具, 包括解决复杂的资源配置和优化等问题。许多地学现象属于动态的复杂系统, 地理系统的复杂性导致地理问题具有非线性、不确定性和模糊性等特征。地理系统的动态性决定了地理实体和地理现象都不是一成不变的, 而是随着时间、空间的变化而不断变化。而且导致这些变化的影响因子具有很大的不确定性, 很难用严格的数学公式和有规律的规则来表示。传统的 GIS 通过对地理数据的处理、分析和模拟, 能够解决复杂地理问题中确定性的问题。但是无法解决地学中的非线性、不确定性和模糊性的问题。因此, 仅靠传统的 GIS 方法处理复杂地理空间问题, 具有很大的局限性, 无法解决动态复杂系统多因素、多层次以及非线性的问题。

近年来, 人工智能获得了迅速的发展, 在许多科学领域取得了丰硕的成果, 已发展成为一门极具挑战性、得到广泛重视和普遍认可并具有广阔发展前景和应用潜能的学科。我们认为, 人工智能与 GIS 结合起来, 必定会大大提高目前 GIS 空间分析的能力, 为对许多复杂的非线性自然系统的分析提供了重要的分析工具。因此, 我们尝试在智能式 GIS 方面进行了系统的研究, 提出了较完整的智能式 GIS 的概念及实现方法。在书中, 我们提到了 GIS 应用的三大前沿方向, 包括空间知识发现、地理模拟以及空间优化与决策, 这三个方向的应用研究能够涵盖地理学中许多复杂的空间问题。首先, 空间知识发现就是从海量数据中自动挖掘出有用信息, 并对这些信息进行空间分析, 从而找出相关的地理知识和地理规律。在当今空间数据呈爆炸式增长的时代, 空间知识发现在 GIS 应用中具有非常重要的地位, 它是获取新的地理知识和地理规律的重要途径, 也是解决复杂空间决策问题的前提和重要依据。另外, 地理模拟系统是探索和分析地理现象的格局形成和演变过程的有效工具, 能够帮助揭示复杂地理动态现象的形成规律并对其发展方向及演化过程进行有效的预测, 在城市扩张、土地利用变化、环境管理和资源的可持续利用等研究中得到广泛的应用。而空间优化与决策也是当今 GIS 应用一个非常重要的方向, 它是资源环境管理、规划和利用需要解决的问题。

尽管国际上不断出现一些零散的将人工智能方法和 GIS 结合起来的研究,但智能式 GIS 中的 intelligent 只是指合适的统计或数学模型,而没有真正涉及人工智能的智能方法,缺乏完整的工具和方法,因而不是真正的智能式方法。本书所提出的智能式 GIS (intelligent GIS) 是指在 GIS 的数据结构框架上,融入最新发展起来的人工智能,建立自动和智能化的空间分析模型,解决空间知识提取、空间辅助决策、空间模拟与优化等一系列复杂的高维空间分析问题。本书的内容体现了我们团队最新的研究成果,建立了较完整的基于点、线和面的空间优化模型,提出了模拟与优化耦合的实现方法,并初步提出了基于耦合的地理模拟优化系统 (GeoSOS 1.1) (该软件目前供学术研究免费使用,下载地址为: <http://www.geosimulation.cn>)。希望通过有关研究,使得智能式 GIS 与空间优化模型可以作为 GIS 的重要补充,逐步发展成一个较成熟的体系。

本书分为 7 章,第 1 章简单介绍了 GIS 的发展和智能式 GIS 提出的由来;第 2 章介绍人工智能诞生的历史背景、发展现状和展望,以及人工智能的基本原理和方法;第 3 章对人工神经网络、遗传进化算法、免疫算法以及群体智能算法等算法进行深入的介绍;第 4 章探讨 GIS 与人工智能的结合,包括专家系统与 GIS、进化计算与 GIS、神经计算与 GIS 的结合;第 5 章重点介绍基于数据挖掘技术的元胞自动机转换规则提取方法、基于粒子群算法的遥感分类方法和基于蚁群算法的遥感分类方法,及其在空间知识获取和遥感影像分类中的应用研究;第 6 章展示了基于多种人工智能算法(包括遗传算法、神经网络算法、蚁群智能算法、人工免疫系统)的智能元胞自动机和多智能体系统在城市演变规律的探索等方面的应用;第 7 章详细介绍 GA (遗传算法)、ACA (蚁群智能算法)、PSO (粒子群算法) 等人工智能算法与 GIS 的集成研究,及其在空间点状地物优化、空间线状地物优化和空间面状地物优化三种复杂空间决策问题中的应用,在此基础上尝试提出地理模拟优化系统 GeoSOS 的概念与实现方法。

本书部分内容包含了我的博士生和硕士生的一些最新研究成果,包括何晋强进行蚁群算法及其点和线优化的分析,陈逸敏提供了基于面状地物选址的优化试验结果,陶海燕负责多智能体与居住环境模拟的内容,王芳提供了不同尺度生物能源供应区域划分及初级供应点确定的优化模型,黎海波承担了多目标粒子群算法与区域搜索的工作,伍少坤负责了动态模拟优化的试验等。

黎复

2009 年 5 月
写于中山大学

目 录

前言

第 1 章 智能式 GIS 的提出	1
1.1 GIS 概述	1
1.1.1 GIS 的定义	1
1.1.2 GIS 的组成	2
1.1.3 GIS 的基本功能	4
1.1.4 GIS 的发展	6
1.2 智能式 GIS 的提出	8
1.3 智能式 GIS 的定义	9
1.4 智能式 GIS 的发展前景	11
参考文献	12
第 2 章 计算机人工智能	14
2.1 人工智能的概述	14
2.1.1 人工智能的定义	14
2.1.2 人工智能的研究目标	16
2.1.3 人工智能的主要成就	17
2.1.4 人工智能对社会各领域的影响	18
2.2 人工智能的发展历史	19
2.2.1 人工智能诞生的历史背景	19
2.2.2 人工智能的诞生	21
2.2.3 人工智能的发展	21
2.3 人工智能的发展现状和展望	24
2.4 人工智能的基本原理和方法	25
2.5 人工智能主要应用领域	26
2.5.1 自动定理证明	27
2.5.2 模式识别	27
2.5.3 专家系统	28
2.5.4 机器学习	31
2.5.5 智能决策支持系统	33
参考文献	34
第 3 章 人工智能一般算法	37
3.1 人工神经网络	37
3.1.1 BP 神经网络	38

3.1.2	Hopfield 神经网络	40
3.2	遗传算法	42
3.2.1	概述	42
3.2.2	遗传算法的基本组成	43
3.3	免疫算法	50
3.3.1	自然免疫系统简介	50
3.3.2	免疫算法	50
3.4	群体智能算法	53
3.4.1	粒子群优化算法	53
3.4.2	蚁群算法	54
	参考文献	56
第 4 章	GIS 与人工智能的结合	59
4.1	GIS 有关应用领域	59
4.1.1	城市与区域规划	59
4.1.2	资源管理与利用	60
4.1.3	环境监测与保护	61
4.1.4	商业规划与分析	61
4.2	GIS 与人工智能结合的必要性和可行性	62
4.2.1	空间知识分析智能化	63
4.2.2	地理模拟智能化	66
4.2.3	空间优化与决策的智能化	69
4.3	人工智能在 GIS 中的研究热点	73
4.3.1	专家系统与 GIS	73
4.3.2	进化计算与 GIS	74
4.3.3	神经计算与 GIS	75
	参考文献	76
第 5 章	智能式 GIS 与空间知识发现	79
5.1	基于数据挖掘的元胞自动机与空间知识发现	79
5.1.1	数据挖掘及地理元胞自动机	80
5.1.2	实验区及空间数据	82
5.1.3	CA 转换规则的自动挖掘	83
5.1.4	模拟结果及检验	86
5.1.5	结论	89
5.2	基于生物群集智能优化的遥感分类方法	89
5.2.1	粒子群算法的基本原理	90
5.2.2	基于粒子群的遥感分类方法	91
5.2.3	影像分类实验	94
5.2.4	结论	97
5.3	基于蚁群智能的遥感分类方法	97

5.3.1	蚁群算法的基本原理	98
5.3.2	基于蚁群智能的遥感分类模型	99
5.3.3	影像分类实验	103
5.3.4	结论	105
	参考文献	106
第6章	智能地理模拟与优化	109
6.1	地理模拟工具：元胞自动机和多智能体	109
6.1.1	元胞自动机	109
6.1.2	多智能体系统	111
6.2	基于CA的智能元胞自动机与城市模拟	112
6.2.1	基于GA的CA模型参数获取及城市形态调控模拟	113
6.2.2	模型应用及结果分析	115
6.2.3	结论	122
6.3	基于ANN的智能元胞自动机与土地利用变化模拟	123
6.3.1	基于ANN和GIS的CA模型	124
6.3.2	应用及模拟结果	126
6.3.3	结论	130
6.4	基于ACO与元胞自动机的智能式地理模拟	131
6.4.1	基于蚁群智能算法的地理元胞自动机	131
6.4.2	基于蚁群智能的地理元胞自动机	134
6.4.3	模型应用及结果	136
6.4.4	模型验证与对比	139
6.4.5	结论	141
6.5	基于AIS的智能元胞自动机与规划情景模拟	143
6.5.1	AIS的基本原理	144
6.5.2	AIS自动获取CA的转换规则	144
6.5.3	基于AIS和元胞自动机的城市规划模型	147
6.5.4	模型应用及结果	149
6.5.5	珠江三角洲城市群的规划情景模拟	152
6.5.6	结论	156
6.6	基于分析学习的智能元胞自动机与城市演变模拟	157
6.6.1	逻辑回归模型	157
6.6.2	分析学习模型	158
6.6.3	应用及模拟结果	162
6.6.4	验证	165
6.6.5	结论	166
6.7	基于多智能体的地理空间分异现象模拟	166
6.7.1	基于多智能体的居住空间分异模型	168
6.7.2	实现与模拟结果	173

6.7.3 结论和讨论	175
6.8 基于多智能体的土地利用空间格局演变模拟	175
6.8.1 基于多智能体的城市土地利用变化模拟模型	176
6.8.2 模型及应用	180
6.8.3 模型的检验	186
6.8.4 结论	187
参考文献.....	187
第7章 空间优化与决策	193
7.1 智能式 GIS 与空间点状地物优化	194
7.1.1 基于城市扩张模拟的基础设施优化模型	194
7.1.2 基于 GA 的空间优化模型	201
7.1.3 基于 GA 的农田生物质能集约利用优化模型	211
7.1.4 基于 ACA (蚁群智能算法) 的大区域优化选址模型	219
7.1.5 基于 PSO (粒子群算法) 的区域选址优化模型	229
7.2 智能式 GIS 与空间线状地物优化	242
7.3 智能式 GIS 与空间面状地物优化	253
7.4 基于耦合的地理模拟优化系统	263
7.4.1 引言	263
7.4.2 地理模拟优化系统	264
7.4.3 结论	270
参考文献.....	271
彩图	

第 1 章 智能式 GIS 的提出

1.1 GIS 概述

1.1.1 GIS 的定义

1854 年秋,英国伦敦宽街爆发了霍乱病,当时医学界未能找出发病的原因。后来医生约翰·斯诺(John Snow)将霍乱病患者的居住地点标记在绘有道路、房屋、饮用水井等基本地理要素的地图上,发现患者主要集中分布在布洛多斯托水井的周围。根据该分析,当地政府立即禁止使用这口水井,此后宽街再也没有出现新的霍乱患者。斯诺医生利用患者与固定地理要素之间的空间关系找出了霍乱病的发病根源——一口被污染的水井,这为当时欧洲的公共卫生事业做出了巨大的贡献(郭仁忠,2001)。“霍乱事件”告诉我们:“地理位置”和“空间分布信息”是相当重要的。世界上任何物体都具有空间特性,我们日常生活中的大部分信息都与地理空间位置有关,可以说空间问题是解决很多实际问题的关键。而 GIS 就是在地理空间信息的基础上利用空间分析解决空间问题的一种有效的方法、技术和手段。GIS 可以为零售商选择销售的最佳地点,可以协助规划部门进行土地利用规划,可以为灾害监测提供救援决策等。

GIS 有许多的定义,其中较为普遍的定义是:GIS 是一种能够存储、获取、显示和分析空间数据的计算机系统(Deursen,1995)。另外,ESRI 公司从软件开发者的角度给 GIS 下了如下定义:GIS 是一种基于计算机的工具,它能够对地球上存在的东西和发生的事情进行成图和分析。GIS 技术就是将普通的数据库操作(如查询与统计分析等)与地图独特的可视化效果集成在一起,使其与其他信息系统相区别,在广泛的公共和个人事业中解释现状、预测未来和规划战略时具有实用价值(Li,2005)。美国国家航空航天局(NASA)给的定义是:GIS 是计算机硬件、软件和操作人员集成的系统,用于处理具有空间特征的地质地形、人口分布统计和图形图像等数据资源(黎夏等,2006)。

从字面意义上讲,GIS 包括“地理”、“信息”和“系统”三个部分(Birkin et al.,1996)。“地理”主要指物体的地理空间位置,GIS 一般通过经纬度或者坐标来表示地理实体的位置。“信息”是指地物的基本空间数据和属性数据,以及在这些数据基础上进行空间分析得到的能够辅助决策制定和战略规划的知识。空间数据是指以地球表面空间位置为参照,描述自然、社会和人文经济的数据,包括数字、文字和图像等形式(吴信才和刘少雄,2002)。空间数据是现实世界中空间特征和过程的抽象表达,它记录地理空间对象的位置和拓扑特征等。根据地物空间特征的不同,可分别用点要素、线要素和面要素来描述各种不同的空间数据。点要素可以代表一些特征站点,如医院、邮局、学校、商店等;线要素一般用于描述河流、道路等线状物体;而面要素可以是土地利用斑块等。随着技术的发展,空间数据对社会经济发

展的重要意义逐渐得到人们的广泛重视和普遍认可，目前已被广泛应用于社会各个行业中，包括城市规划、环境管理、交通等领域。根据空间数据内容和性质的不同，可将其归纳为不同的专题，在 GIS 中，以图层的方式存储和管理不同专题的空间数据，如在一个综合研究中，我们一般用几个不同的图层分别存储道路数据、地形数据、人口数据和土地利用数据等空间地理要素。另外，GIS 可以将描述地理要素内涵和性质的属性数据存储于数据库中，并通过一定的方式将属性数据与对应的空间数据链接起来，共同管理、分析和使用。以河流为例，空间数据记录了河流的位置和空间形状，而属性数据记录了它的名称、长度和宽度等信息。将属性数据与空间数据链接起来，则能将河流空间位置及其本身固有的属性信息准确地输出给用户，以供查询和分析。对空间数据和属性数据进行空间分析有助于人们认识和理解现实世界的知识和规则，为人们解决复杂问题提供重要的依据，如前面提到的宽街霍乱病患者的空间分布规律就是医生快速找出病因的重要依据。GIS 的特点是能够通过图形、图像甚至是人机交互的形式将这些有用信息形象地表达出来，供用户分析使用。“系统”意味着 GIS 是一个具有一定的结构和功能的、相互密切联系的整体。“信息系统”一般是能够为决策支持提供有用信息的一系列有组织的程序（Lucas et al.，1978）。但是 GIS 有别于其他一般的信息系统。GIS 不同于管理信息系统（Management Information System，MIS）。GIS 是对图形数据和属性数据的集成管理，进而进行分析、查询和应用；而 MIS 只对属性数据进行管理，MIS 里的图形只能以文件形式存在，不具备拓扑关系，也不能供用户查询使用。GIS 不同于地图数据库系统。地图数据库系统只是将地图数据系统地存储于数据库中，而没有分析和查询功能；而 GIS 是在数据库的基础上进行深层次的空间分析，为许多空间问题的解决提供有效的手段（杨斌等，2002）。简而言之，GIS 区别于其他信息系统的重要标志是它能够获取、存储、分析和显示空间数据。GIS 能够提取空间信息，并将经过空间分析得到的隐含信息形象地表达出来，即将地图显示与空间分析有机地结合起来，从而有效地解决复杂的空间问题，为相关部门提供重要的决策支持。

1.1.2 GIS 的组成

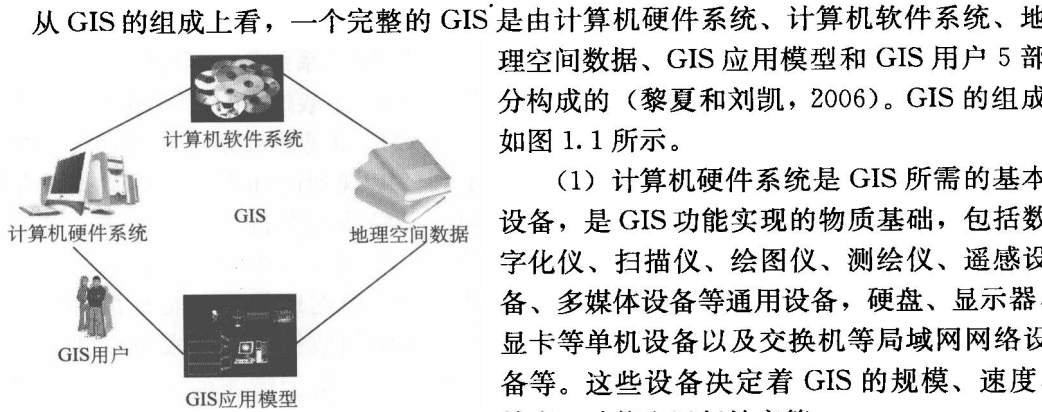


图 1.1 GIS 的组成

（1）计算机硬件系统是 GIS 所需的基本设备，是 GIS 功能实现的物质基础，包括数字化仪、扫描仪、绘图仪、测绘仪、遥感设备、多媒体设备等通用设备，硬盘、显示器、显卡等单机设备以及交换机等局域网网络设备。这些设备决定着 GIS 的规模、速度、精度、功能和运行效率等。

(2) 计算机软件系统是指 GIS 运行所需的各种程序, 通常包括系统软件、基础软件和 GIS 软件。GIS 软件是计算机软件系统的核心, 能够帮助实现 GIS 空间分析以及二次开发功能。国内外著名的 GIS 专业软件有 MapInfo、MapGIS、ArcGIS、SuperMap 等。另外, 系统软件和基础软件也是使用 GIS 必不可少的, 系统软件指操作系统, 是 GIS 运行的基础; GIS 所需的基础软件包括图像处理软件、数据库软件、编程软件等。

(3) 地理空间数据是 GIS 分析和操作的对象, 是现实世界在计算机中的抽象, 包括地理空间实体的空间位置、土地利用类型、变化趋势等。GIS 空间数据有矢量数据和栅格数据两种主要的数据类型, 通常是通过计算机硬件设备将空间数据输入地理空间数据库中。

(4) 模型是人类对事物的一种抽象, 是对现实世界的简化表达, 是对客观世界中解决各种实际问题所依据的规律或过程的抽象或模拟, 模型通常表达了某个系统的发展过程或结果 (黎夏和刘凯, 2006)。GIS 应用模型是在 GIS 空间数据的基础上建立起来的模型, 一般是通过抽象化的数学公式将地理事物的过程和结果表达出来, 进一步在计算机中利用 GIS 技术进行求解, 从而达到解决实际生活中的各种空间问题的效果。常见的 GIS 应用模型有人口增长模型、资源优化配置模型、水土流失模型、区位-配置模型、投入产出模型等, 这些模型基本能够满足解决简单地理问题的要求。

在 GIS 的具体应用中, 采用某一模型帮助用户解决地理空间问题之前, 需要明确几个关键问题 (Burrough, 1992): ①该模型的基本假设是什么? ②该模型需要什么输入数据? 在合理的空间尺度下, 能否获取模型所需的输入数据? ③如何确定该模型的控制参数? ④该模型的误差传递是如何形成的? ⑤能否获取用于校准和验证模型的数据? ⑥模型的运行结果能否准确描述时间和空间格局? ⑦用户评价模型输出结果好坏的指标是什么?

这些问题直接影响到模型的分析结果及其有效性。当所要解决的问题较简单时, 以上问题很容易得到答案; 而当所要解决的地理问题较为复杂时, 在处理这些关键问题时会出现许多新的问题。

随着 GIS 应用深度和广度的不断扩展, GIS 需要解决的城市或区域系统中的地理问题日益复杂, 为这些复杂地理问题建立较好的数学模型显得非常困难 (Openshaw S and Openshaw C, 1997)。首先, 关于城市或区域系统如何工作的理论过于含糊, 无法为模型的建立提供明确的规范, 而对于这些系统行为的观测往往是带有噪声的、非线性和非常复杂的。因此, 很难有较好的数学模型可以解决这些复杂的地理空间问题。对于这些复杂地理问题, 传统的模型是将繁多的数据简化为几个简单的变量, 或者采用简单的线性关系代替复杂的非线性关系, 导致模型无法准确地反映实际问题。空间数据的日益丰富和地理问题的日益复杂, 对 GIS 应用模型的数据挖掘能力以及地理分析、评价、预测和决策支持等功能提出了很大的挑战, 同时也对 GIS 的计算速度以及计算的智能化和自动化提出了更高的要求。因此, GIS 应用模型的发展面临着较大的困难, 需要寻求新的技术和方法, 以提高其解决复杂地理空间问题的能力。

(5) GIS 用户是 GIS 的重要组成部分, 既包括系统开发、管理和维护人员, 也包括 GIS 的应用用户。GIS 是为满足用户的各种需求而进行空间分析与系统开发的。因此可以说, 用户是 GIS 存在的基础, 用户提出的需求和问题不断地促进 GIS 的进步和发

展（黎夏和刘凯，2006）。

1.1.3 GIS 的基本功能

从功能上看，GIS 是一种计算机技术，它不仅具有采集、存储和显示空间数据等功能，而且能够完成查询以及空间叠置（Overlay）分析、网络（Network）分析和缓冲区（Buffer）分析等重要空间分析功能，在资源配置、环境评价、优化选址、土地利用和城市模拟等应用中发挥着重要的作用（Birkin et al.，1996；黎夏和刘凯，2006；黎夏等，2007）。下面具体地介绍 GIS 的基本功能。

1. 采集、存储和显示功能

在地质调查、土壤信息系统、土地利用变化动态监测等应用中，GIS 在空间数据的采集、存储与显示方面都发挥了重要的作用（Burrough，1991）。GIS 分析和操作的对象是空间数据，空间数据是 GIS 分析的基础，因此采集空间数据应该是 GIS 最基本的功能，也是 GIS 进行空间分析的前提步骤。根据数据结构的不同，可将空间数据分为矢量数据和栅格数据两种类型，矢量数据主要通过地图数字化、野外测量等方法获取，而栅格数据的获取主要是通过遥感方法实现的。获取的空间数据通常需要录入地理空间数据库中，将数据存储起来，为下一步进行空间查询、分析做准备。随着 GIS 应用领域的不断拓宽，空间数据的采集量剧增，如何提高空间数据的采集效率，以及有效地存储、整合和共享不同研究领域的空间数据，已成为制约 GIS 发展的一个重要问题。

GIS 的最终目的是将分析结果提交给用户，帮助用户理解和掌握地理空间问题。输出结果往往是衡量一个 GIS 好坏的标志。因此，GIS 的数据显示功能是不容忽视的，我们通常是利用图形、图像、表格或人机交互等方式，将 GIS 的分析过程和分析结果显示在用户界面上，辅助人们进行各种决策（黎夏和刘凯，2006）。地图显示对规划具有相当重要的意义，能帮助人们观察、探索、检验和比较结果，便于不同专业人员之间的交流（Batty，1992，1994）。在比较复杂的区位配置模型中，地图显示以及数据可视化的重要性更加突出，它能增强决策过程的人机交互性（Armstrong et al.，1992；Densham，1994；叶嘉安等，2006）。可见，地图制图和地图显示是 GIS 在城市规划中应用最广泛的功能（叶嘉安等，2006）。

2. 查询和检索功能

空间查询和检索是 GIS 的基本功能之一，也是进行其他空间分析的基础操作，主要用来查询、检索和空间定位。空间查询一般包括数据的空间特征查询、属性特征查询、空间关系查询、时间特征查询以及拓扑特征查询等，可以通过已知属性查图形，也可以通过已知图形查属性。例如，我们可以查询某一铁路所经过的所有省份或查询经过某一省份的所有铁路。

3. 空间分析功能

空间分析是 GIS 的核心功能之一，也是 GIS 区别于计算机地图制图系统和数据库

管理系统的显著特征 (Li, 2005; 黎夏和刘凯, 2006)。GIS 空间分析往往涉及对某一地理坐标系统的空间信息进行查询和分析的工作, 通过分析可以发现隐藏在空间数据之后的重要信息, 揭示出事物的内在规律。一般的空间分析功能包括叠置分析、网络分析、缓冲区分析等, 利用这些简单的空间分析功能就可以回答一系列与地理信息有关的空间问题, 如“在某个范围内建立一所高校的最佳地址在哪里?”“有多少居民可能被某工厂污染所影响?”“从 A 地到 B 地的旅行费用最少的路径是什么?”等 (黎夏和刘凯, 2006)。当需要解决的实际问题变得较复杂时, 需要将几种不同的分析方法交叉使用, 以达到解决问题的目的。下面将详细介绍几种主要的空间分析方法。

1) 叠置分析

叠置分析是 GIS 重要的分析方法之一, 是提取空间隐含信息的有效手段 (邬伦等, 2001)。其原理是将两个或两个以上的地理要素图层进行叠加从而产生新要素图层, 新图层综合了原来多层实体要素所具有的属性特征。多层数据的叠置, 会产生新的空间关系或新的属性特征关系, 能够发现多层数据的相互差异、联系和变化特征。

根据数据基本结构的不同, 将 GIS 叠置分析分为矢量叠置分析和栅格叠置分析两种类型。矢量叠置分析又包括点与多边形的叠置分析、线与多边形的叠置分析以及多边形与多边形之间的叠置分析三种类型, 它们对于选址和空间优化配置等分析具有相当重要的意义 (Birkin et al., 1996)。图 1.2 是利用多边形间的叠置分析来寻找适宜位置的应用例子。首先将人口与人均收入两个多边形图层进行叠置分析 (Intersect), 得到人

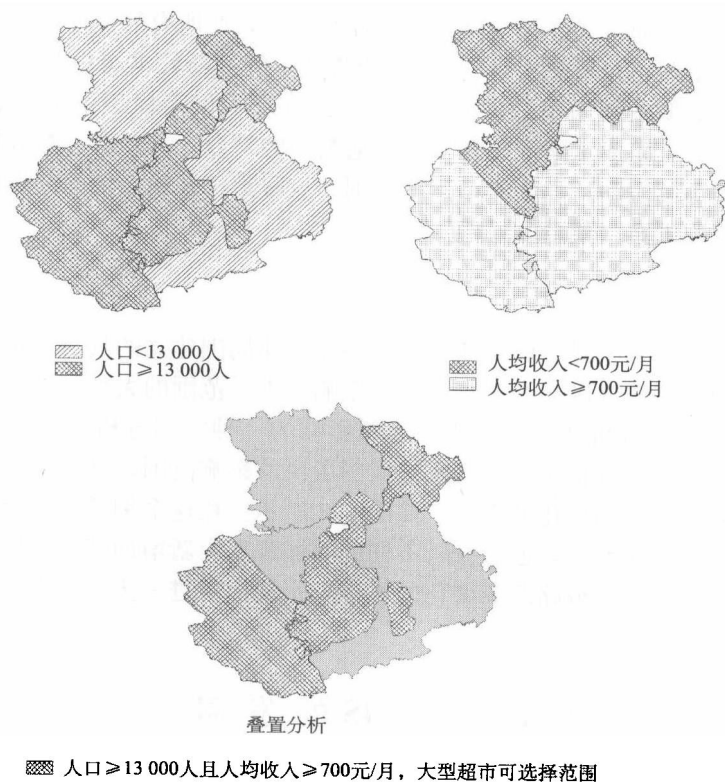


图 1.2 叠置分析应用例子

口 $\geq 13\ 000$ 且人均收入 ≥ 700 元/月的区域,则可将该区域(人口较多且经济发展较好)初步划定为适宜建立大型超市的范围。栅格的叠置分析是多层栅格图像的地图代数运算过程,包括加、减、乘、除等代数运算,均值、最大最小值以及各种逻辑运算。对两景具有一定重叠度的遥感图像进行拼接操作是栅格数据叠置分析应用的一个典型例子。另外,利用GIS叠置分析功能进行土地适宜性评价,从而进行简单的选址也是GIS的传统应用领域(叶嘉安等,2006)。

2) 网络分析

在一个道路网络、水系网络或管道系统中,我们通常需要回答诸如“从A到B的最短路径是什么?”和“如何对网络上的资源进行合理的分配?”等问题。这都属于GIS网络分析所要解决的问题(Birkin et al., 1996)。网络分析是GIS空间分析的一个重要功能,它是根据结点与结点、线与点、线与线之间的拓扑关系来研究网络模型中实体的空间和属性特征,从而进一步对网络模型进行分析的空间分析方法。它的数学基础是计算机图论和运筹学,通过研究网络的状态以及模拟和分析资源在网络上的流动与分配情况,对网络结构及资源等优化问题进行研究(龚健雅,2001)。网络分析的基本思想是优化理论,即认为人类活动总是根据网络关系模型中某种预期的目标来判断、选择能实现这个目标的最佳方式和最好途径(黎夏和刘凯,2006)。

常见的网络分析方法包括三种:①连通性分析,主要对一个交通网络的结点之间是否连通进行分析,它是最佳路径选择分析的前提。连通性分析一般包括连通分量求解和连通方案求解,后者通常是在耗费最小的目标约束下,使所有的点连通。②最佳路径分析,一般是通过最短路径算法实现的。“最佳路径”的判断标准可以是距离最短、时间最少、交通费用最低或利用率最高等优化标准。在交通网络模型中选择最佳的交通路线,可以是铁路、公路或水路等几种不同交通类型的组合。③资源分配分析,主要分析网络结点之间资源的流动,如中心结点从周围结点收集资源或者周围结点向中心结点发送资源的最优分配方案(黎夏和刘凯,2006)。

3) 缓冲区分析

缓冲区就是针对点、线、面实体,在感兴趣实体周围建立的具有一定距离的缓冲区多边形。我们通常将缓冲区作为地物的近邻影响范围,范围的大小由用户定义的领域半径 R 所决定。缓冲区分析就是确定地物近邻影响的一种空间分析方法,具有广泛的应用性,如利用点缓冲区分析工厂污染水对周围居民的影响范围;又如通过建立道路缓冲区来分析道路对土地利用变化的影响,如图1.3所示。在这个例子中,分别建立2 km、4 km和6 km的道路缓冲区,通过分析不同的邻域距离内新增加城市用地的数量及其分布情况,可以发现随着离道路距离变化的城市扩张规律,进一步分析得到道路对土地利用变化的影响。

1.1.4 GIS的发展

GIS的研究始于20世纪60年代的美国和加拿大(Coppck and Rhind, 1991)。GIS

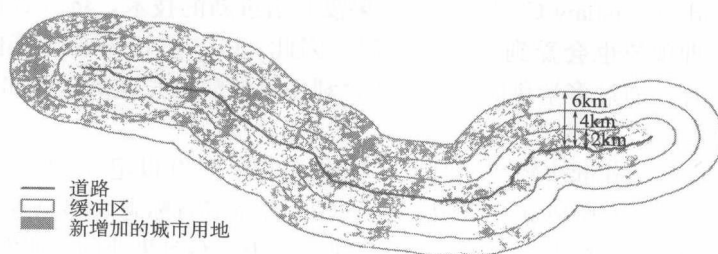


图 1.3 缓冲分析应用例子

的提出和发展是现代地理学的一次重要革命，使地理学由定性的描述转向定量的观测和分析。这为地理学的研究提供了崭新的手段，提高了地理学解决实际问题的能力（张健挺和邱友良，1998）。GIS 发展初期主要侧重于技术与方法的研究。世界上公认的第一个 GIS 是加拿大地理信息系统（CGIS）。该系统是 1962 年加拿大著名测量学家 R. F Tomlinson 等建立的，1964 年正式投入使用，主要用于自然资源的管理和规划（Openshaw, 1994）。不久，美国哈佛大学提出了较完整的系统软件 SYMAP。美国和加拿大学者首先带动了 GIS 的起步发展。

20 世纪 70 年代开始，随着计算机技术的迅速发展以及环境问题的日益突出，GIS 技术逐渐被应用到资源环境的各个领域，相继出现了许多 GIS 应用系统。20 世纪 80 年代中期，GIS 在空间信息的收集、存储和管理方面有了很大的创新，成为 GIS 的一次重要革命（Openshaw S and Openshaw C, 1997）。20 世纪 80 年代以后，GIS 的地理信息处理能力、空间分析技术日趋成熟，为存储、管理和分析地学空间信息和空间知识提供了一种通用的工具，这在一定程度上促进了地理学的发展。与此同时，开始出现了一些商业化的实用系统，国外的 GIS 进入了产业化阶段，GIS 的巨大潜力逐渐为人们所认识，在近 20 年来得到了飞速的发展（Coppck and Rhind, 1991；丁黄望和马生全，2005）。

促进 GIS 技术迅速发展的原因主要有以下几个方面：①计算机设备性能的不断增强为 GIS 的发展提供了坚实的硬件基础；②数据库技术、编程语言、图像处理等计算机技术的完善，为 GIS 的发展提供了软件条件；③空间技术的迅猛发展，特别是遥感技术的发展，为 GIS 提供了地球空间环境不同时相的数据，促进了 GIS 的存储、处理空间数据的能力的提高；④GIS 日益拓宽的应用领域不断地对其提出要求和建议，促进了 GIS 理论和技术的进步。

随着 GIS 术的不断发展，GIS 逐渐从数据管理和分析走向模型分析。GIS 的强大生命力在于与各种实际应用的结合。然而 GIS 的数据管理和分析功能对于大多数的空间问题是远远不够的。根据具体的地理空间问题，建立相应的 GIS 应用模型，是 GIS 解决实际问题的能力、效率和产生社会效益的关键所在。因此，GIS 工作的核心就是应用模型来解决地理空间决策问题。

随着空间数据收集和存储等技术的发展，空间信息愈来愈丰富，需要解决的地理空间问题也日益复杂，大大超出传统 GIS 的能力范围。这对 GIS 的空间知识获取、空间分析能力以及空间建模能力提出了更大的挑战。单靠 GIS 技术，我们无法从海量的空间数据中发现新的问题，或者从大量的空间信息中发现地理事物的模式和关系

(Openshaw S and Openshaw C, 1997)。如果没有引进新的技术,将较难推动 GIS 的发展,人类认识地理现象也会受到一定的阻碍。因此, GIS 迫切需要与其他学科的新技术、新方法相结合,通过多学科的交叉合作,利用其他学科先进的技术和方法,才能使 GIS 更好地发展下去。

我国 GIS 的研究工作起步较晚,但发展较快。开始于 20 世纪 80 年代初,以 1980 年中国科学院遥感应用研究所成立的全国第一个 GIS 研究室为标志(邬伦等, 2001)。此后许多学者致力于 GIS 理论技术与应用的研究,推动了中国 GIS 事业的快速发展。本书作者自 20 世纪 80 年代中期开始投入 GIS 的工作,开展了一系列关于珠江三角洲的研究,包括元胞自动机(Celluar Automata, CA)和多智能体在城市模拟、土地利用变化及城市规划方面的应用和研究,取得了一系列的成果,推动了 GIS 和地理模拟的发展。

1.2 智能式 GIS 的提出

GIS 作为地球空间知识分析和空间决策的重要手段,已得到地学领域广泛的认可和重视。GIS 的应用,推动了地理科学逐渐走向信息科学发展的时代。在 GIS 的应用中,人们遇到了许多的困难和障碍。首先,随着数据采集技术的进步,空间数据呈爆炸式增长,人们将被淹没在海量的空间数据中。其次,随着空间数据的日益丰富,空间决策问题也日趋复杂, GIS 的局限性逐渐暴露出来。传统的 GIS 侧重于空间数据的采集、存储、分析和显示问题,而空间知识发现、空间决策以及地理模拟能力相当薄弱,不能满足社会和区域可持续发展在空间分析和决策支持等方面的需求。GIS 分析功能的不足以及传统 GIS 模型的局限性一直成为制约 GIS 广泛应用的瓶颈。因此需要寻求一种新的理论和技术,以弥补传统 GIS 方法的不足。我们希望引进新的理论和技术能够提高 GIS 解决复杂地学问题的能力,具体包括以下几个方面:

- (1) 提供自动化、智能化的空间分析方法;
- (2) 智能化地处理日益增长的多维度、多尺度的海量空间数据;
- (3) 为地理信息系统提供更好、更新、更智能的模型;
- (4) 帮助解决先前无法解决的、日益复杂的地理问题。

随着计算机技术的发展,人工智能获得了迅速的发展,成为当今世界的三大尖端技术之一,并在许多领域得到了广泛的应用。人工智能是利用计算机代替人完成一些智能活动的一系列方法。在本质上,人工智能的主要任务是基于计算机,建立自动化、智能化的分析工具或模型;人工智能的主要目标之一是从数据中发现新的知识和创建新的模型(Openshaw S and Openshaw C, 1997)。事实上,人工智能不仅仅是一门计算机技术,也可以把人工智能看成是一种工具,或是计算机和 IT 时代的一种解决复杂问题的思想或框架。可见,人工智能正是地理学和 GIS 所需要的新理论和新技术,它能够在很大程度上弥补 GIS 空间分析功能和空间模型的不足,帮助 GIS 将原始的海量空间数据转化为有用的知识,并从中发现问题,从而达到解决日常生活中出现的复杂地理空间问题的目的。

相关研究也表明,人工智能与 GIS 的结合具有非常重要的必要性。Smith (1984)认为,人工智能的引进,将使地理学的研究进入一个飞速发展的时代。人工智能不仅能