

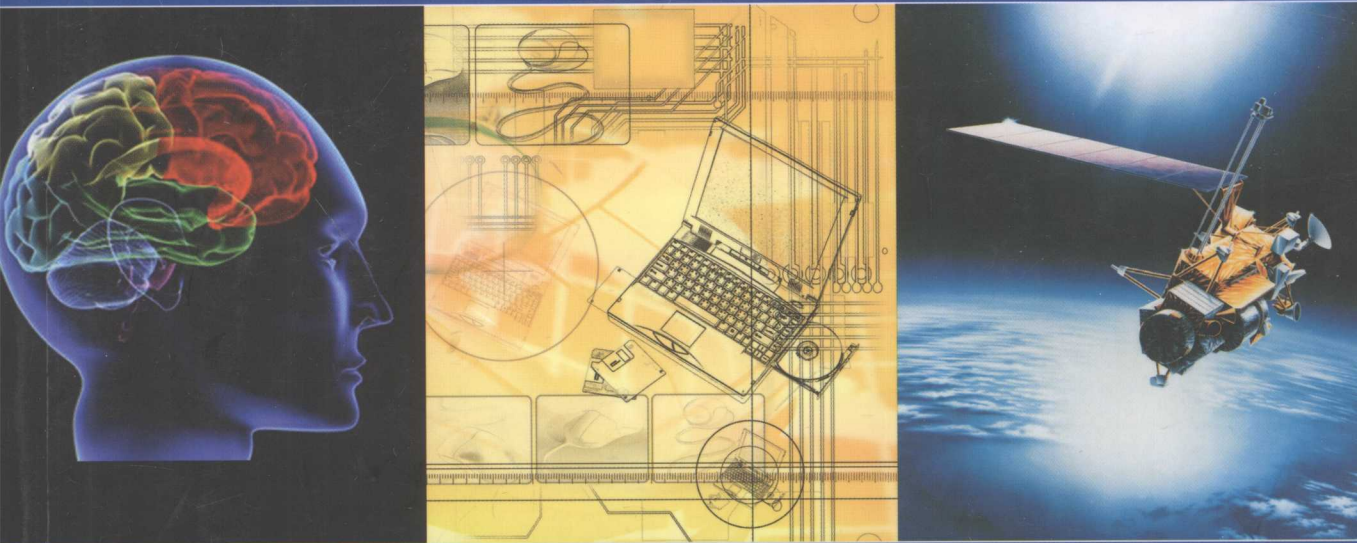
GEOGRAPHIC INFORMATION SCIENCE

● 高等学校地图学与地理信息系统系列教材

智能空间信息处理

Intelligent Spatial Information Processing: ISIP

秦昆 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

高等学校地图学与地理信息系统系列教材

-39

智能空间信息处理

Intelligent Spatial Information Processing: ISIP

秦昆 编著

p208
Q415



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

智能空间信息处理/秦昆编著. —武汉:武汉大学出版社,2009. 11
高等学校地图学与地理信息系统系列教材
ISBN 978-7-307-07392-0

I. 智… II. 秦… III. 地理信息系统—高等学校—教材 IV. P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 190607 号

责任编辑:王金龙 责任校对:黄添生 版式设计:支 笛

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:cbs22@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn)

印刷:武汉中远印务有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:18.5 字数:397千字

版次:2009年11月第1版 2009年11月第1次印刷

ISBN 978-7-307-07392-0/P·163 定价:30.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

内 容 简 介

智能空间信息处理是地球空间信息科学的重要发展方向,属于地球空间信息科学与智能科学的学科交叉。本书第一章介绍了智能空间信息处理的基本概念、研究进展和主要内容;第二章介绍了空间认知的基本理论;第三章介绍了空间知识的表达方法;第四章介绍了空间推理的理论和方法;第五章介绍了神经计算及基于神经计算的空间信息处理方法;第六章介绍了模糊计算及基于模糊计算的空间信息处理方法;第七章介绍了进化计算及基于进化计算的空间信息处理方法;第八章介绍了机器学习方法及基于机器学习的空间信息处理方法;第九章介绍了空间数据挖掘的理论与方法;第十章介绍了智能体与空间信息处理方法。本书主要是针对高等学校遥感科学与技术专业本科生编写,也可作为地理信息系统、测绘工程、计算机科学与技术、智能科学与技术等专业本科生的参考教材及相关专业研究生的参考教材,对从事遥感、测绘、地理信息系统、计算机、智能科学等领域的人员也有参考作用。

前言

“智能”一词是 21 世纪的热门话题,是诸多学科研究和应用的热点。智能空间信息处理(intelligent spatial information processing, ISIP)是地球空间信息科学(geo-spatial information science, geomatics)的重要发展方向,是地球空间信息科学与智能科学的交叉学科,代表了空间信息科学的学科发展前沿。

作者自 2005 年 9 月成立了智能空间信息处理研究兴趣小组后,一直从事相关的教学与科研工作,先后主讲了“人工智能与专家系统/智能 GIS”、“空间分析/空间分析与应用”等本科生课程,主讲了“地理信息智能化处理”、“地理空间推理及其应用/空间认知与推理”等研究生课程,承担了与智能空间信息处理有关的 973 专项、863 项目、国家自然科学基金、国家重点实验室开放基金等多项科研课题。一直坚持从事智能空间信息处理的相关研究。作者根据自己多年在该领域的教学经验和科研成果,参考国内外的相关资料,编写了本教材。

本书由秦昆确定全书结构,主要内容由秦昆及其学生一起在参考国内外相关研究并结合教学经验和科研成果编写完成。第一章介绍了智能空间信息处理的基本概念、研究进展和主要研究内容,由秦昆、许凯和田玉刚完成;第二章介绍了空间认知的基本理论,由秦昆、孔令桥和刘乐完成;第三章介绍了空间知识的表达方法,由秦昆、吴芳芳和骆亮完成;第四章介绍了空间推理的理论和方法,由秦昆、林春峰完成,邓文胜提供了部分资料;第五章介绍了神经计算与空间信息处理,由秦昆、刘瑶完成,张治国提供了部分资料和补充;第六章介绍了模糊计算与空间信息处理,由许凯、秦昆完成,刘乐作了补充;第七章介绍了进化计算与空间信息处理,由吴涛、秦昆完成;第八章介绍了机器学习与空间信息处理,由秦昆、吴梦然和徐敏完成,周春作了补充;第九章介绍了空间数据挖掘的理论与方法,由秦昆完成,孔令桥和吴芳芳作了补充,周春提供了部分资料;第十章介绍了智能体与空间信息处理,由秦昆、区磊海完成,林志勇作了补充。全书由秦昆统稿和定稿。

在教材编写过程中引用了大量的国内外参考文献,非常感谢这些学者在智能空间信息处理方面所做的前瞻性研究工作,特别感谢蔡自兴老师和徐光祐老师他们编写的《人工智能及其应用》(本科生用书、研究生用书)这两本书是我自 2004 年承担人工智能课程以来的指定教材。在本书的编写过程中尽可能地引用并标注了相关学者的文献,如有疏漏,在此表示抱歉。如有什么意见和建议,请和本书作者联系。

本书的出版得到了国家自然科学基金(60875007)和国家重点基础研究发展计划 973 项目(2006CB701305; 2007CB311003)的支持。

感谢武汉大学遥感信息工程学院的孟令奎教授、余洁教授对本课程教学的支持。感谢武汉大学遥感信息工程学院 GIS 教研室的李建松主任对智能 GIS、空间推理等课程教学的支持和帮助。

感谢武汉大学出版社王金龙编辑为本书的出版所做的许多细致工作,作者向他们表示诚挚的谢意。

本书主要是针对高等学校遥感科学与技术专业本科生编写,也可作为地理信息系统、测绘工程、计算机科学与技术、智能科学与技术等专业本科生的参考教材及相关专业研究生的参考教材,对从事遥感、测绘、地理信息系统、计算机、智能科学等领域的研究人员也有参考作用。

智能空间信息处理是一个具有挑战性和前瞻性的研究方向,由于作者才疏学浅,此书谨作抛砖引玉,欢迎批评指正!

秦 昆

qinkun163@163.com

2009 年 8 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 智能空间信息处理 ISIP	1
1.2 空间信息处理 SIP	2
1.3 智能信息处理 IIP	5
1.3.1 概述	5
1.3.2 IIP 的认知过程分析	6
1.3.3 IIP 的物理符号系统假设	7
1.4 人工智能的研究进展与研究领域	7
1.4.1 人工智能的起源与发展	7
1.4.2 人工智能研究的主要方法	9
1.4.3 人工智能的研究与应用领域	9
1.5 ISIP 的主要内容	15
1.5.1 RS 信息智能化处理	15
1.5.2 GIS 信息智能化处理	17
1.5.3 GPS 信息智能化处理	19
思考题	20
参考文献	20
第 2 章 地理空间认知	23
2.1 认知科学	23
2.2 认知心理学	24
2.3 认知物理学	26
2.4 地理空间认知的概念	27
2.5 地理空间认知的研究内容	28
2.6 地理空间认知的特性分析	33
2.6.1 地理空间认知的时空特性	33
2.6.2 地理空间认知的尺度特性	34
2.6.3 地理空间认知的不确定性	36
2.6.4 地理空间认知的可视特性	36

2.7 地理空间认知的实例分析	37
2.7.1 UCSB 的个人导航系统	37
2.7.2 时空聚类的认知分析	39
思考题	45
参考文献	45
 第3章 空间知识的表示方法	48
3.1 空间知识概述	48
3.2 状态空间法与空间知识表示	50
3.2.1 状态空间法	50
3.2.2 基于状态空间的网络分析	51
3.3 问题归约法与空间知识表示	54
3.3.1 问题归约法	54
3.3.2 基于问题归约的空间知识表示	55
3.4 基于谓词逻辑的空间知识表达	57
3.4.1 命题逻辑	57
3.4.2 谓词逻辑	57
3.4.3 基于谓词逻辑的空间知识表示	59
3.5 基于规则的空间知识表达	60
3.5.1 规则与知识	60
3.5.2 产生式规则	60
3.5.3 基于规则的空间知识表示	61
3.6 基于语义网络的空间知识表示	62
3.6.1 语义网络	62
3.6.2 空间知识的语义网络表示	65
3.7 面向对象的空间知识表示	68
3.8 空间知识库	69
思考题	72
参考文献	72
 第4章 空间推理方法	75
4.1 空间推理的概念与特点	75
4.1.1 空间推理的概念	75
4.1.2 空间推理的特点	76
4.2 空间推理的研究内容	76
4.3 不确定性推理	77

4.4	概率推理	78
4.5	贝叶斯推理与空间推理	79
4.5.1	主观贝叶斯推理方法	79
4.5.2	贝叶斯网络推理	81
4.5.3	基于贝叶斯原理的空间推理	81
4.6	可信度推理与空间推理	82
4.6.1	基于可信度的不确定性表示	82
4.6.2	可信度推理方法	83
4.7	证据推理与空间推理	84
4.7.1	证据理论的描述	84
4.7.2	基于证据推理的空间推理方法	85
4.8	模糊推理与空间推理	88
4.8.1	模糊推理方法	88
4.8.2	基于模糊推理的空间推理方法	90
4.9	案例推理与空间推理	93
4.9.1	案例推理方法	94
4.9.2	基于案例推理的空间推理方法	95
4.10	空间关系推理	97
4.10.1	空间拓扑关系推理	97
4.10.2	空间方向关系推理	100
4.11	时空推理	102
	思考题	103
	参考文献	103
第5章	神经计算与空间信息处理	106
5.1	计算智能与软计算	106
5.2	人工神经网络基础理论	107
5.2.1	人工神经网络的基本原理	107
5.2.2	人工神经网络的典型模型	110
5.3	反向传播 BP 网络	111
5.3.1	BP 网络的基本原理	111
5.3.2	BP 网络的基本算法	111
5.3.3	BP 网络在 SIP 中的应用	113
5.4	Hopfield 神经网络	114
5.4.1	Hopfield 网络的基本原理	114
5.4.2	Hopfield 网络的基本算法	114

5.4.3	Hopfield 网络在 SIP 中的应用	116
5.5	自组织映射(SOM)网络	117
5.5.1	SOM 网络的基本原理	117
5.5.2	SOM 网络的基本算法	117
5.5.3	SOM 网络在 SIP 中的应用	118
5.6	径向基函数(RBF)神经网络	120
5.6.1	RBF 网络的基本原理	120
5.6.2	RBF 网络的基本算法	121
5.6.3	RBF 网络在 SIP 中的应用	122
5.7	Matlab 的人工神经网络工具箱	122
	思考题	128
	参考文献	128
第 6 章	模糊计算与空间信息处理	131
6.1	模糊集计算方法	131
6.1.1	模糊集合	131
6.1.2	模糊关系	133
6.1.3	模糊综合评判	134
6.2	基于模糊集的空间信息处理	135
6.2.1	模糊空间关系	135
6.2.2	模糊图像分割	137
6.3	粗糙集计算方法	139
6.4	基于粗糙集的空间信息处理	140
6.4.1	粗糙空间关系	140
6.4.2	粗糙图像分割	141
6.5	云模型计算方法	144
6.6	基于云模型的空间信息处理	149
6.6.1	云模型空间数据分析	149
6.6.2	云图像分割	152
6.7	Matlab 模糊集工具箱	156
6.7.1	图形用户界面(graphic user interface, GUI)	156
6.7.2	隶属度函数(membership function)	157
6.7.3	模糊推理系统的数据结构管理函数	159
6.7.4	模糊逻辑工具箱中的推理	160
	思考题	162
	参考文献	163

第7章 进化计算与空间信息处理	165
7.1 进化计算概述	165
7.2 遗传算法及空间信息处理	168
7.2.1 遗传算法的基本框架与设计	168
7.2.2 基于 Matlab 的遗传算法设计	172
7.2.3 基于遗传算法的空间信息处理	176
7.3 粒群优化算法及空间信息处理	178
7.3.1 粒群优化算法	178
7.3.2 基于粒群优化的空间信息处理	182
7.4 蚁群算法及空间信息处理	184
7.4.1 蚁群算法	184
7.4.2 基于蚁群算法的空间信息处理	185
7.5 免疫计算及空间信息处理	189
7.5.1 免疫计算方法	189
7.5.2 基于免疫计算的空间信息处理	191
思考题	194
参考文献	194
第8章 机器学习与空间信息处理	197
8.1 机器学习概述	197
8.1.1 机器学习的定义	197
8.1.2 机器学习的发展历程	198
8.1.3 机器学习的基本结构	198
8.2 机械学习与空间信息处理	200
8.2.1 机械学习基本方法	200
8.2.2 基于机械学习的空间信息处理	201
8.3 归纳学习与空间信息处理	201
8.3.1 归纳学习基本方法	201
8.3.2 基于归纳学习的空间信息处理	205
8.4 决策树学习与空间信息处理	210
8.4.1 决策树学习基本方法	210
8.4.2 基于决策树学习的空间分析方法	214
8.4.3 基于决策树学习的遥感图像分类方法	216
8.5 类比学习与空间信息处理	219
8.5.1 类比学习基本方法	219

8.5.2 基于类比学习的空间信息处理	223
8.6 解释学习与空间信息处理	224
8.6.1 解释学习基本方法	224
8.6.2 基于解释学习的空间信息处理	226
8.7 其他机器学习方法	227
思考题	227
参考文献	228
 第9章 空间数据挖掘	230
9.1 空间数据挖掘的由来与发展	230
9.2 空间数据挖掘的内容和方法	232
9.3 空间关联规则挖掘	233
9.4 空间聚类挖掘	237
9.5 空间分类挖掘	242
9.6 空间离群点挖掘	248
9.7 空间数据挖掘软件系统	251
思考题	260
参考文献	260
 第10章 智能体与空间信息处理	264
10.1 智能体与分布式人工智能	264
10.1.1 分布式人工智能	264
10.1.2 智能体	265
10.1.3 智能体的要素	266
10.1.4 智能体的特性	266
10.1.5 智能体的结构类型	267
10.2 多智能体系统	268
10.2.1 基本概念	268
10.2.2 多智能体的基本模型	269
10.2.3 多智能体的体系结构	270
10.2.4 多智能体系统的学习	270
10.2.5 多智能体的研究和应用领域	271
10.3 基于智能体的空间信息处理	272
10.3.1 基于智能体的分布式 GIS 系统	272
10.3.2 基于智能体的空间数据挖掘	276

10.3.3 基于智能体的遥感图像处理	278
思考题	279
参考文献	279

第1章 绪 论

1.1 智能空间信息处理 ISIP

智能空间信息处理(intelligent spatial information processing, ISIP)是地球空间信息科学(geo-spatial information science geomatics)与人工智能(artificial intelligence, AI)的交叉与融合,属于遥感科学(remote sensing science)、信息科学(information science)、认知科学(cognitive science)等学科的交叉,代表了地球空间信息科学的重要发展方向。从空间信息的获取到空间信息的应用和可视化都可以借助人工智能技术来提高空间信息的获取效率和应用效果。

地球空间信息科学(geomatics)是以全球定位系统(global positioning system, GPS)、地理信息系统(geographical information system, GIS)、遥感(remote sensing, RS)等空间信息技术为主要内容,并以计算机技术和通信技术为主要技术支撑,用于采集、量测、分析、存储、管理、显示、传播和应用与地球和空间分布有关数据的一门综合和集成的信息科学和技术(李德仁, 1999)。地球空间信息科学理论框架的核心是地球空间信息机理,主要研究内容包括:地球空间信息的基准、标准、时空变化、认知、不确定性、解译与反演、表达与可视化等基础理论问题(李德仁, 1999)。

人工智能是智能机器所执行的通常与人类智能有关的智能行为,如判断、推理、证明、识别、感知、理解、通信、设计、思考、规划、学习和问题求解等思维活动(蔡自兴,徐光祐, 2003)。

信息处理(information processing, IP):通常指按不同要求,用计算机对数据进行加工(归纳、整理、分类、统计、转化等)得出有用结果的过程。

智能信息处理(intelligent information processing, IIP):为了适应信息时代的信息处理要求,当前信息技术逐渐向智能化方向发展,从信息的载体到信息处理的各个环节,广泛地模拟人的智能来处理各种信息。智能信息处理是计算机科学中的前言交叉学科(史忠植, 2009)。

空间信息处理(spatial information processing, SIP):空间信息处理从严格意义上讲,并不仅指空间信息的计算机处理,测绘科学、地理科学都是以处理空间信息为主要研究任务的学科。随着计算机技术的飞速发展,现在所讲的空间信息处理大多是指空间信息的计算机处理(郭仁忠, 1992)。

智能空间信息处理(intelligent spatial information processing, ISIP):智能空间信息处理是指利用人工智能的理论和方法,利用计算机智能方法,如神经计算、模糊计算、进化计算等方法实现空间信息的智能化处理,属于地球空间信息科学与人工智能的交叉与融合。

1.2 空间信息处理 SIP

空间信息处理主要是指空间信息的计算机处理,是地球空间信息科学的重要内容,其核心技术是以遥感(remote sensing, RS)、地理信息系统(geographical information system, GIS)和全球定位系统(global positioning system, GPS)为代表的“3S”技术及其信息处理方法。

1. 遥感(RS)信息处理

遥感是在不直接接触的情况下,对目标物或自然现象远距离感知的一门探测技术。具体地讲,是指在高空或外层空间的各種平台上,运用各种传感器获取反映地表特征的各种数据,通过传输、变换和处理,提取有用的信息,实现研究地物空间形状、位置、性质、变化及其与环境的相互关系的一门现代应用技术科学(孙家柄, 2003)。

遥感信息处理是指对传感器获得的信息进行加工处理的技术。遥感信息通常以图像的形式出现,故这种处理也称遥感图像信息处理。遥感信息处理的主要目的是:

- (1)消除各种辐射畸变和几何畸变,使经过处理后的图像能更真实地代表原景物;
- (2)利用增强技术突出景物的某些特征,使之易于区分和判释;
- (3)进一步分析、理解和识别处理后的图像,提取可用性更高的信息。

遥感(RS)信息处理的主要内容包括以下几个方面:

1) 遥感图像的几何处理

遥感图像作为空间数据,具有空间地理位置的概念。在应用遥感图像之前,必须将其投影到需要的地理坐标系中。遥感图像的几何处理是遥感信息处理过程中的一个重要环节(孙家柄, 2003)。

遥感图像的几何处理包括两个层次:遥感图像的粗加工处理;遥感图像的精加工处理。遥感图像的粗加工处理也称为粗纠正,它仅做系统误差改正。当已知图像的构像方式时,就可以把与传感器有关的测定的校正数据,如传感器的外方位元素等代入构像公式对原始图像进行几何校正。遥感图像的精纠正是指消除图像中的几何变形,产生一幅符合某种地图投影或图形表达要求的新图像的过程。它包括两个环节:一是像素坐标的变换,即将图像坐标转变为地图或地面坐标;二是对坐标变换后的像素亮度值进行重采样(孙家柄, 2003)。遥感图像的自动配准和数字镶嵌也是遥感图像几何处理的重要内容。

2) 遥感图像的辐射处理

由于遥感图像成像过程的复杂性,传感器接收到的电磁波能量与目标本身辐射的能量是不一致的。传感器输出的能量包含了太阳位置和角度条件、大气条件、地形影响和传感器本身的性能等所引起的各种失真,这些失真不是地面目标本身的辐射,因此对图像的

使用和理解造成影响,必须加以校正和消除。包括辐射定标、辐射校正、遥感图像增强、遥感图像平滑、遥感图像锐化等内容(孙家柄,2003)。

3) 遥感图像判读

“判读”是对遥感图像上的各种特征进行综合分析、比较、推理和判断,最后提取出感兴趣信息的过程。传统的方法是采用目视判读,是一种人工提取信息的方法,使用眼睛目视观察,借助一些光学仪器或在计算机显示屏幕上,凭借判读经验、专业知识和相关资料,通过人脑的分析、推理和判断,提取有用信息(孙家柄,2003)。

4) 遥感图像自动识别分类

遥感图像的计算机自动识别分类是模式识别技术在遥感技术领域的具体应用。遥感图像的计算机分类就是利用计算机对地球表面及其环境在遥感图像上的信息进行属性的识别和分类,从而达到识别图像信息所相应的实际地物,提取所需地物信息的目的(孙家柄,2003)。遥感图像自动识别分类的常用方法包括:最大似然法、支持向量机分类法、神经网络分类法和高斯混合模型分类法等(Richards,2005)。

从空间信息处理的角度分析,遥感信息处理主要是对栅格数据进行处理,提供一种空间信息的场模型,是对连续空间的信息处理。

2. 地理信息系统(GIS)信息处理

地理信息系统是一种特定的、十分重要的空间信息系统,是在计算机硬件、软件系统支持下,对整个或部分地球表层(包括大气层)空间中的有关地理分布数据进行采集、存储、管理、计算、分析、显示和描述的技术系统(龚健雅,2001)。地理信息系统的处理对象是多种类型的空间实体数据及其关系,包括空间定位数据(位置和空间关系)、属性数据、遥感图像数据等,用于分析和处理一定地理区域内分布的各种现象和过程,解决复杂的空间规划、决策和管理问题(李建松,2006)。

GIS信息处理的主要内容包括以下几个方面:

1) 栅格数据的信息处理

栅格数据结构采用二维数字矩阵作为数据分析的数学基础,具有自动分析处理较简单、分析处理模式化强等特征。主要包括聚类聚合分析、多层次复合叠置分析、窗口分析及追踪分析等基本方法(张成才等,2004)。

2) 矢量数据的信息处理

与栅格数据的信息处理方法相比,矢量数据一般不存在模式化的分析处理方法,而表现为处理方法的多样性和复杂性。主要包括包含分析、缓冲区分析、叠置分析、网络分析等(张成才等,2004)。

3) 三维数据的信息处理

随着二维GIS向三维和更高维方向的发展,三维GIS数据的信息处理越来越重要。三维GIS数据处理除了对空间对象的 x 、 y 坐标进行分析外,更重要的是对三维坐标 z 坐标的分析和处理。主要包括表面积计算、体积计算、坡度计算、坡向计算、剖面分析、可视性分析和水文分析等(张成才等,2004)。

4) 属性数据的信息处理

属性数据是空间对象的描述性信息,对空间对象的属性信息进行统计分析是 GIS 信息处理的重要内容。包括:空间数据的量算(质心量算、长度量算、面积量算、形状量算等)、空间数据内插、空间信息分类(主成分分析、层次分析、聚类分析)、空间统计分析等(张成才等, 2004)。

5) 时空数据的信息处理

在传统的静态 GIS(static GIS, SGIS)的基础上,考虑时间维,同时处理空间维和时间维,构成时态 GIS(temporal GIS, TGIS)。时空数据的信息处理是指利用多种时空数据模型,如空间时间立方体模型、序列快照模型、基图修正模型、空间时间组合体模型等分析和处理随时间变化的空间现象,从而对空间对象的时变特性进行分析和处理(Matějíček et al., 2006)。

6) 地理信息的可视化处理

将地理信息系统产品以某种用户需要的、可理解的形式进行可视化的表达和输出。包括提供多种地理信息系统产品输出,如普通地图、专题地图、影像地图、统计报表、决策方案、三维数字模型、三维地图以及虚拟现实与仿真模拟演示等(李建松, 2006)。

从空间信息处理的角度分析, GIS 主要是对线状数据(多边形可以理解成封闭的线)的一种处理,提供的是一种要素模型的空间信息处理。

3. 全球定位系统(GPS)信息处理

全球定位系统(global positioning system, GPS)是美国国防部为满足军事部门海、陆、空高精度导航、定位和定时的要求而建立的一种卫星定位与导航系统(李德仁, 1999)。全球定位系统由以下三个部分组成:空间部分(GPS 卫星)、地面监控部分和用户部分。GPS 卫星可连续向用户播发用于进行导航定位的测距信号和导航电文,并接收来自地面监控系统的各种信息和命令以维持正常运转。地面监控系统的主要功能是:根据 GPS 卫星,确定卫星的运行轨道及卫星钟改正数,进行预报后再按规定格式编制成导航电文,并通过注入站送往卫星。地面监控系统还能通过注入站向卫星发布各种指令,调整卫星的轨道及时钟读数,修复故障或启用备用件等。用户则用 GPS 接收机来测定从接收机至 GPS 卫星的距离,并根据卫星星历所给出的观测瞬间卫星在空间的位置等信息求出自己的三维位置、三维运动速度和钟差等参数(李征航,黄劲松, 2005)。

全球定位系统(GPS)信息处理的主要内容包括以下几个方面:

1) 数据预处理

对数据进行平滑滤波检验、剔除粗差;统一数据文件格式,并将各类数据文件转换成标准化文件(如 GPS 卫星轨道方程的标准化、卫星时钟钟差标准化、观测值文件标准化等);找出整周跳变点并修复观测值;对观测值进行各种模型改正(李征航,黄劲松, 2005)。

2) 基线向量的解算

基线解算一般采用差分观测值,较为常用的差分观测值为双差观测值,即由两个测站