



地理空间推理

郭庆胜 杜晓初 闫卫阳 著



科学出版社

www.sciencep.com

地理空间推理

郭庆胜 杜晓初 闫卫阳 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书系统地论述了地理信息科学中常见的空间关系表达理论和推理方法。全书分为九章,主要内容包括:地理空间推理概述、地理空间拓扑关系分类、地理空间拓扑关系推理、地理空间方向关系的表达与推理、地理空间距离关系、地理空间邻近关系、地理空间相似性、地理空间相关性、本体论驱动的地理空间推理策略。全书结构严谨,理论和方法结合紧密,并且总结了地理空间推理的最新研究进展。

本书可以作为地理信息系统专业及相关专业研究生的选修教材或教学参考书,同时可供地理学、计算机科学、测绘科学与技术等领域从事空间信息处理与分析的研究人员和工程技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

地理空间推理/郭庆胜,杜晓初,闫卫阳著. —北京:科学出版社,2006
ISBN 7-03-016585-3

I. 地… II. ①郭…②杜…③闫… III. 地理信息系统 IV. P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 145244 号

责任编辑:彭胜潮 赵 峰/责任校对:刘小梅

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

*

2006年2月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2006年2月第一次印刷 印张: 16 1/2

印数: 1—2 500 字数: 314 000

定价: 39.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(环伟))

前 言

空间推理是空间认知过程中一个非常重要的基本活动,在计算机科学、人工智能、地理信息系统等领域,一些学者已对空间推理的理论和应用方法进行了多年的研究,并取得了丰硕的成果。在地球信息科学中,为了更好地表达空间知识,国际上有几个专门研究机构和专题会议组织有关学者研究和讨论空间推理问题,国内外已有许多学者在地理空间推理方面提出了大量的新理论和新方法。地理空间推理在地图制图学与地理信息科学中也有广泛的应用,例如,地图设计与综合就涉及大量的空间认知问题。地理空间推理问题的顺利解决有助于提高地图设计与综合的智能化水平。为此,作者从国内外已有的研究成果中吸取了非常丰富的营养,对地理空间推理的原理和方法作了比较深入的研究,试图为地图设计与综合中的空间知识获取和应用提供更实用的理论和方法模型。

本书比较系统地总结了作者在地理空间推理及其在地图设计与综合中应用的一部分研究成果。全书共分9章,各章内容包括:第一章介绍了地理空间推理的基本概念、发展趋势和主要研究内容;第二章分析了地理空间拓扑关系的不同分类方法;第三章研究了地理空间拓扑关系推理的不同策略;第四章利用不同的空间方向关系描述模型,介绍并研究了地理空间方向关系的表达与推理方法;第五章简单介绍了地理空间距离关系及其推理方法;第六章介绍了建立空间邻近关系的几种常见方法,在此基础上研究了空间邻近关系的推理方法和空间目标影响范围的划分方法;第七章介绍了地理空间相似性的几种主要计算方法,在此基础上研究了空间拓扑相似性、空间方向相似性、空间语义相似性、空间场景相似性和地图相似性;第八章介绍了地理空间自相关和相关场的计算方法,并讨论了空间自相关在统计地图数据分级质量评价中的应用;第九章讨论了本体论驱动的地理空间推理策略,研究了本体论驱动的多层次路径查询问题。

本书创新性成果的研究工作得到了教育部霍英东高等院校青年教师基金和教育部高校青年骨干教师科研项目资助。另外,国家自然科学基金(40571133)、国家测绘局科技发展基金、遥感与测绘信息工程国家重点实验室开放基金、地理空间信息工程国家测绘局重点实验室开放基金等也给予了资助,他们为我们在空间推理应用方面的后续研究提供了支持。

在这些科研项目的研究过程中,郭庆胜指导的博士生和硕士生做了大量的创新性研究工作,他们的部分研究成果已被收集到本书中。毛建华博士研究了空间关系一致性的维护方法;李江博士研究了城市空间结构的分析方法;闫卫阳博士研究了城镇体系空间布局的特征分析;丁虹博士研究了空间相似性的计算方法;杜晓

初博士研究了空间拓扑关系的推理方法和等价程度的计算模型；陈宇箭硕士研究了矢量空间中二维地图目标之间拓扑关系的分类方法，并详细绘制了分类图。

在这里，谨向为我们提供资助的单位和有识之士，以及许多给予我们支持、理解和帮助的同行人和学者表示诚挚的谢意。另外，还有许多人为本书的顺利出版提供了帮助，感谢他们的热情帮助和无私的支持。徐峥硕士、于江佩硕士和陈宇箭硕士为本书绘制了大量插图；武汉大学资源与环境科学学院院长刘耀林教授从学科发展的角度为本书的出版提供了诸多好的建议；许多学者的研究成果和学术思想在本书中被引用，虽然已有说明，但是在主要参考文献中未一一列出，敬请谅解。

本书内容结构、理论方法研究和大部分章节的编写及全书的统稿由郭庆胜负责；杜晓初编写了第一章第二节、第二章第八节、第三章第三节、第五章、第六章的部分内容、第七章第四节和第九章，并参加了所涉及内容的研究工作；闫卫阳编写了第六章第五节，并参加了其他有关章节的部分编写与研究；丁虹参加了第七章第五节的研究和编写工作；李留所参加了第八章第三节的研究和编写工作。

空间推理方面已有的研究成果很多，作者只是结合自己的研究心得，以一个比较系统的思想框架撰写了本书，试图为空间推理领域添枝加叶。

由于作者知识面有限，学识疏浅，加之时间仓促，本书不当之处在所难免，恳请读者批评指正。

作者

2005年8月于武汉大学

目 录

前 言

第一章 地理空间推理概述	1
第一节 地理空间推理的定义与研究对象.....	1
第二节 地理空间推理研究现状.....	8
第三节 地理空间推理的应用	15
第二章 地理空间拓扑关系的分类	18
第一节 一维空间目标之间的拓扑关系分类	18
第二节 基于 4 交集的空间拓扑关系分类	20
第三节 基于 9 交集的空间拓扑关系分类	24
第四节 9 交集模型的其他形式	29
第五节 基于矢量数据模型的空间拓扑关系描述	33
第六节 空间目标之间拓扑关系的组合式表达	35
第七节 不同空间数据模型中的拓扑关系	51
第八节 空间拓扑关系的模糊性	56
第三章 地理空间拓扑关系推理	69
第一节 直线段之间空间拓扑关系推理	69
第二节 基于点集的空间拓扑关系推理	72
第三节 基于 RCC 的空间拓扑关系推理.....	75
第四节 空间拓扑关系描述的符号投影方法	84
第五节 矢量空间目标之间的全域拓扑关系推理	86
第四章 地理空间方向关系的表达与推理	100
第一节 空间方向关系的描述方法.....	100
第二节 空间方向关系的定性推理.....	116
第三节 多尺度地理空间目标的空间方向关系.....	121
第四节 地理空间方向关系的模式与推理.....	126
第五章 地理空间距离关系	135
第一节 空间距离的定义.....	135
第二节 空间距离关系的定性推理.....	137
第三节 顾及空间距离的空间关系定性描述.....	142
第六章 地理空间邻近关系	145
第一节 空间邻近关系的定义与分类.....	145

第二节	Delaunay 三角网的建立	147
第三节	Voronoi 图的建立	157
第四节	地理空间邻近关系的推理	163
第五节	基于空间邻近关系的城市影响空间的划分	167
第七章	地理空间相似性	174
第一节	地理空间相似性的定义	174
第二节	地理空间拓扑关系的等价性	175
第三节	地理空间拓扑关系的相似性	184
第四节	顾及度量的区域之间拓扑关系等价性抽象	194
第五节	地理空间方向关系相似性	199
第六节	地理空间语义相似性	205
第七节	地图相似性	213
第八章	地理空间相关性	221
第一节	地理空间自相关	221
第二节	地理空间相关场	227
第三节	地理空间自相关在统计地图数据分级中的应用	232
第九章	本体论驱动的地理空间推理策略	240
第一节	本体论的基本概念	240
第二节	基于地理本体的空间推理策略	241
第三节	基于地理本体的路径查询	244
主要参考文献	247

第一章 地理空间推理概述

第一节 地理空间推理的定义与研究对象

1. 地理空间的含义

“空间”是一个多义性的概念,对人类思维影响很大。目的不同,对空间的理解也不相同。因此,现实生活中存在许多不同的空间概念,例如生活空间、虚拟空间、地图空间和数学空间等。

在地理研究中,我们可以把空间理解为一个范围,地理空间是地理现象发生区域的一种定义或划分;或者是具有地理定位的几何空间。在地理信息系统中地理空间可以用具有属性的离散目标集或场描述,目标的属性有位置、范围和形状等,它们通过相交或连通等空间关系相互联系。陈述彭(2001)把地理空间定义为物质、能量、信息的存在形式在形态、结构过程、功能关系上的分布方式和格局及其在时间上的延续,地理空间上至大气电离层,下至地幔莫霍面。

尺度是地理空间数据表达和处理过程中一个非常重要的因子,然而关于尺度这个术语,还没有一个很好的定义。尺度是客体在容器中规模相对大小的描述(王家耀, 2001)。尺度的含义较广,包括所描述的地理现象的尺度和地理空间数据的尺度两个方面。

地理现象的尺度是指被观察对象所涉及的空间范围的相对大小,这种空间尺度的大小是相对的,例如,当你从飞机上观察时,一个城市的范围可以被看作是一个小尺度空间,但是,当你位于这个城市的街道上时,该城市就是一个大尺度空间,这里所说的空间尺度是相对于人在地面上的视野而言的。大尺度空间是指地理空间,人们不能立刻认识它,要通过若干个局部的观察才能推导出地理空间的地理特征,而不能通过一个局部位置的人类感知就能得到。小尺度空间是指在人的视野范围内的客观世界。

描述地理空间的数据有尺度特性,这种尺度可分为空间尺度、时间尺度和质量尺度。尺度意味着抽象的层次,空间尺度常用“地图比例尺”来描述。地理空间尺度是指在给定的表达空间范围内地理空间数据所表达的地理空间范围的大小,这也可以用“分辨率”(resolution)来说明,例如遥感影像等以栅格为存储模式的地理数据。但是,分辨率主要强调详细程度,“详细程度”在地理空间数据中也描述了一种尺度特性,它与“抽象程度”形成对偶关系,主要强调所描述地理特征的多少。空间粒度(granularity)也是描述尺度的一种概念,强调抽象程度,当地理目标的空间

粒度发生变化时,地理空间目标所描述的地理特征也会随之发生变化,例如,在地图综合中,多个房屋会抽象为一个街区,地理目标的特征发生了变化,这说明地理目标的语义粒度发生了变化,因此,空间粒度和语义粒度可以相互影响。时间尺度主要强调时间间隔的长短。质量尺度用于说明数据质量的控制范围。在地理空间中空间关系达到何种程度,如何衡量这种抽象程度,目前还缺乏统一的衡量标准。空间关系的语义表达也具有层次性,存在多尺度特征。

2. 地理空间认知

“认知”(cognition)是认知心理学的一个重要概念。从广义上说,认知与认识是同一个概念,是人脑反映客观事物的特性与联系,揭露事物对人的意义与作用的心理活动。现代认知心理学强调认知的结构意义,认为认知是以个人已有的知识结构来接纳新知识,新知识被旧知识结构吸收,旧知识结构又从中得到改造与发展。从狭义上理解,有几种说法:认知是信息处理过程;认知是思维及问题求解;认知是心理符号处理;认知是由知觉、记忆、推理等组成的一个复杂系统;认知是研究知识的获得、存储、提取及应用;认知是人类认识和了解他生活于其中的世界时所经历的各个过程的总称,包括感受、发现、识别、想像、判断、记忆、学习等。

认知科学(Cognitive Science)与认知心理学和人工智能有密切的关系(马蔼乃, 2001),它在地理信息科学中已引起了广泛关注,众多 GIS 学者对地理认知的理论内涵、认知表达和概念模型的特点作了研究(Usery, 1993; Mark et al., 1999; 鲁学军等, 1998), Jeremy(2000)把认知原理应用到地理数据库表达中。地图学也非常重视空间认知的研究,因为要使电脑模仿人脑制作出优秀的地图,把有关的地理数据组织起来,就要弄明白空间环境信息在人脑中是如何进行编码的,以及人在制作地图时的思维记忆过程(高俊, 1992; 王家耀等, 2000; 陈毓芬, 2000)。认知科学是心的科学、智能的科学、思维的科学、知识及其应用的科学,认知科学研究的目的是说明和解释人在完成认知活动时如何进行信息加工的。

认知科学应用到地理信息科学中就形成了“地理空间认知”(geo-spatial cognition)。地理空间认知是地理空间目标的大小、形状和方位,以及空间关系等在人脑中的反映。地理空间认知的手段多种多样,主要有实地考察、阅读文字材料、统计数字、听取报告、观看地图和图片等。其中,地图是地理空间认知最重要的工具,也是地理空间认知的一种结果。

地理空间认知也可以简称为“空间认知”。空间认知也是对现实世界的空间属性,包括位置、大小、距离、方向、形状、模式、运动和物体内部关系的认知,是通过获取、处理、存储、传递和解译空间信息来获取新的空间知识的过程。

空间认知是认知科学的一个重要研究领域,也是心理学、地图学、地理学、计算机科学和人工智能等学科都在研究的一个重要问题,这些学科从各自角度对空间

认知进行了研究。这是因为空间认知就是对空间知识的处理过程,也是空间信息处理的过程。而空间知识是人类赖以生存的重要条件。空间认知研究人如何理解和表示空间的方式,研究空间信息的处理过程,研究人怎样认识自己赖以生存的环境。空间认知主要包括对地理实体及其空间关系的理解和表示,认知的对象是多维的、多时相的(王家耀等,1999)。

根据认知心理学理论,认知的类型和概念来自于人类与现实世界的交互,在人类身体的尺度和日常可操纵物体的尺度上,这种交互是直接的、直观的。这些物体和包含它们的空间基本上三维的,其相对位置也是通过以物体为中心或以观看者为中心的参考框架来表达的。人类进入文明时代以后,便开始使用地图。地图作为人类空间认知的一种重要工具,是不可替代的,人类对地图的兴趣是永恒的,这也是千百年来地图经久不衰的原因之一。长期以来,人们习惯用地图表示地理空间,但是地图本身就是一个“可操纵的空间”,因此地理空间认知的研究可以直接放在地图空间上。空间目标的形状、大小、方位、位置、维数和相互关系等空间结构的知识,形成了我们对自身生存环境的认知地图(cognitive map),并影响我们的空间决策和行为(王家耀等,1999)。实际的距离与认知距离有时是有差别的,Egenhofer和Golledge(1998)详细研究了认知距离的概念,认为精确测量所得到的地图与该区域的认知地图是有差别的,主要表现在量测精度上。认知地图也称心象地图(mental map),可把它理解为人们对现实世界感知的心象表示,是一个人头脑中具有的关于环境的空间结构的大量知识。人们通过记录感知、自然语言和推导的信息来构造和发展认知地图。Lloyd(1997)认为空间认知是地理学与心理学的结合,涉及对认知过程进行编码、过程内部的描述、过程的解码。空间认知可以被理解为一种认知地图制图(cognitive mapping),认知地图制图就是从大量的外部环境信息到大脑的采集、编码、使用和存储的过程。认知地图是客观世界在人们头脑中的模型,不同的人会有不同的认识,因此认知地图具有模糊性,可以用相似性来评价认知地图与客观世界的匹配程度。

为了有效表达地理空间信息,描述人们所认识的地理世界,更好地操纵地理空间,很多学者在地理空间认知的理论上做了大量的研究工作,并建立了相应的地理空间认知模型。地理空间认知是地理认知理论之一,是对地理空间信息的表征,由感知过程、表现过程、记忆过程和思维过程组成(王家耀等,2000)。Open GIS从另一个角度总结了一个地理空间认知模型,把基本地理空间认知模型抽象为9个层次:

- (1) 现实世界:实际存在的客观世界,地理空间信息的抽象从这里开始。
- (2) 概念世界:人类对地理对象的初步认识,以便描述现实世界。

(3) 地理空间世界:GIS总是只表达概念世界的部分内容,因此需要对概念世界进行选择,提取一些感兴趣的子集,这些子集就是地理空间世界,是空间信息处

理系统描述的对象。

(4) 尺度世界：地理空间世界中抽象出的元素由点、线、面和体(即 0、1、2 和 3 维图形)构成,同时还包括它们的空间关系。这些元素以及它们的组合都是有尺度的,可以通过测量方法得到,在欧几里得几何空间中可以建立它们在地理空间世界中的真实关系。

(5) 项目工程世界：尺度世界是 GIS 对现实世界的一般性抽象,为了实现地理信息的计算机表示,需要对几何对象进行编码,这就是项目工程世界阶段。

(6) 点世界：描述项目工程范围的坐标系统。

(7) 几何世界：通过一定的连接方式使所有的离散点组织起来,构成 GIS 的几何模型,形成与现实世界对应的几何对象。

(8) 地理要素世界：通过描述对象的属性,全面表示现实世界中的地理实体。

(9) 要素集合世界：地理要素世界往往局限在比较小的地理范围内,为了全面描述现实世界,可以把地理要素世界进行集成,组成要素集合世界,实现由现实世界到计算机地理空间世界的转变,用数字信息全面完整地描述地理世界。

3. 地理空间认知的心理学基础

很明显,认知过程中心理活动的规律非常重要,在心理学中对此有比较深入的研究,这也是研究地理空间认知理论的基础之一。例如,Paivio 的双重编码理论、Tulving 的两种记忆类型、Sclunk 的语言理解论、Minsky 的框架理论等(马荣华, 2002)。

Paivio 的双重编码理论认为人类具有两个相互联系的记忆系统:言语系统和表象系统。这两个相互独立又相互联系的系统虽不完全一一对应,却能互相激活。例如,我们把地图上的符号称为地图符号时,就会联想到地图符号这个词语的表象。

Tulving 的两种记忆类型是指情景记忆和语义记忆。情景记忆接收和存储关于个人的特定时间的情景或事件以及这些事件的时间-空间联系的信息;语义记忆是运用语言所必需的记忆,是一个人所掌握的有关字词或其他语言符号、意义和指代物。

Sclunk 的语言理解论是基于情景记忆发展的自然语言理解理论。语言是基于记忆的过程,人们在语言理解的过程中,会回忆出以前经历的一些情景,这些情景帮助人们理解新的情景,预测可能发生的事件。

Minsky 的框架理论是一个人们理解情景、故事时的心理学模型。框架理论的基本观点是人脑已存储有大量的典型情景,当一个人面临新的情景时,就从记忆中选择(粗匹配)一个称作框架的基本结构,具体内容依新的情景而改变,对这个只有基本结构的框架的细节进行加工修改和补充,形成对新情景的认识,然后又记忆于

人脑中。

另外,认知过程涉及一个重要的问题——整体和部分的认知。对于一个客体,是先认知其各部分,再认知整体,还是先认知整体,再认知其各部分?格式塔心理学认为,整体多于部分之和,整体决定着其部分的认知。根据这个观点,整体是在其部分之前被认知的。

对认知的过程可以用心理学模型来描述,这种模型很多,例如诺尔曼模型、流程认知模型等。诺尔曼模型认为,人的心理活动是一个整体,是认知因素(感知、表象、记忆等)和非感知因素(情感、意志、动机、兴趣等)的辩证统一,因此必须考虑情感等因素对认知行为的影响。在流程认知模型中,刺激从外界输入,暂时送到感觉信息存储器,在那里作适当的停留,经过各种符号化的处理,送到短期记忆存储器。

记忆是人脑对过去经验中发生过的事物的反映,是心理在时间上的持续。有了记忆,人类的先后经验才能联系起来,心理活动才能成为一个统一的、发展的过程,从而使得心理发展、知识积累和个性形成得以实现。记忆分初级记忆和次级记忆,初级记忆也被称为短时记忆,次级记忆被称为长时记忆,记忆模型如图 1-1 所示。

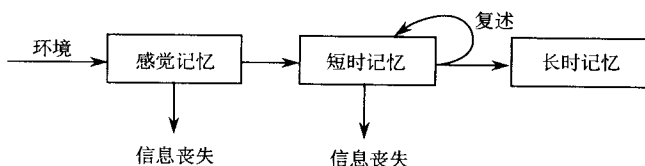


图 1-1 记忆的三级加工模型

外界信息进入记忆系统后,经历三个记忆结构加工。感觉记忆,也叫感觉登记,是指个体凭借视、听、味、嗅等感觉器官,感应到刺激时所引起的短暂(一般按几分之一秒计算)记忆。感觉记忆只留在感觉层面,如不加注意,转瞬即逝。短时记忆是指感觉记忆中经注意能保存到 20 秒以下的记忆。短时记忆被看作是通往长时记忆的一个中间环节或过渡阶段。短时记忆的时间间隔比感觉记忆的时间间隔要长些,但存储材料的时间仍然很短,和感觉记忆中可用的大量信息相比,短时记忆的能力是相当有限的,容量有限是短时记忆的一个突出的特点。长时记忆是指保持时间在一分钟以上的信息存储。长时记忆是一个真正的信息库,它有巨大的容量,可长期保持信息。长时记忆存储着我们关于世界的一切知识,为我们的一切活动提供必要的知识基础,使我们能够识别各种模式,进行学习,运用语言,进行推理和解决问题等。复述过程本身实际上也是一种有趣的短时记忆现象。如果没有这种复述过程,短时记忆的信息就会相当快地衰变和丢失。

4. 地理空间认知理论

就目前的研究资料来看,地理空间认知的理论并没有形成一套完整的理论体系,下面只简单介绍几种常用的理论方法:层次性分类理论、3W(Where、What 和 When)的认知、命题理论、成像(imagery)理论。

层次性分类理论主要是指人们为了组织数据,以及更有效地存储知识而使用的怎样把具有共同属性的实体进行分类的方法,把类别从一般到特殊、从低级到高级放在不同的层次中,这在地理信息系统的数据组织中是常用的。

3W 的知识存储在相互分离的分类系统中,并且具有独立的知识结构,以便根据不同目的获取不同特征。一般地说,What 涉及实体的标识,Where 涉及实体的相关空间关系,When 涉及实体的变化运动以及对过程的探测。What/Where/When 三个系统在性质上是彼此区分的,但相互交织,尤其是 What/Where 方面的知识是不能完全独立和分离的。

命题理论认为,一个命题是一个抽象的概念结构,这一结构表达了对象之间的相互关系。命题使用简单的句子来约定。

成像理论认为,影像是空间认知模型的一个必要组成部分。这个理论的基础是图形隐喻,并且图形不同于影像。感知过程把原始空间信息简化为一个更简单、更有组织规则的形式。当信息被重新组织时,就存储在记忆中,并且能够按照需要被重新聚合,创建类似图形的影像。成像理论强调认知地图的制作过程和功能。

在地理空间认知中地理空间意象也起到了非常重要的作用。意象是人类意识对于物质世界的主动和积极的形象化反映。地理空间意象是一种具有自学能力的具有空间形象感的地理形象化思维模式,它既提供了一种地理信息的组织方式,同时,它又为地理信息、知识提供了一种形象化的表达模式。地理思维包括地理抽象思维、地理形象思维以及地理创造性思维(马藹乃, 2001)。

5. 地理空间推理的定义

人类对各种事物进行分析、综合并最后作决策的过程中,通常从已掌握的已知事实出发,运用事物之间的相互关系(如因果关系等),找出其中蕴涵的新的更多事实,这个过程通常被称为推理。推理是根据一定的原则,从一些已知的判断(前提)合理地得出另一些新的论断(结论)的思维过程。用计算机实现推理,是自从有计算机以来就一直为许多计算机科学家所追求的目标,也具有十分重要的应用价值。

很明显,空间推理是人类空间认知世界的一项基本活动。空间推理是许多不同领域的专家和学者研究的一个共同问题,在地理空间中同样存在这样的问题。

高俊(1997)认为,地图是人类认识自己赖以生存的环境的一种空间认知的最主要的、且永远不可替代的工具。地图是我们获取地理空间知识的一个重要工具。

地理空间知识可以表示为

地理空间知识 = 地理空间关系 + 语义

也就是说,地理空间推理就是地理空间关系的推理,它也包括了一般的空间推理问题,我们可以把地理空间推理简称为空间推理。空间推理是从对空间知识形式化建模和逻辑推断的角度认识空间。空间认知过程离不开空间关系推理,空间关系推理过程也不能缺少空间认知,二者相辅相成。

也有一些学者从空间推理的实质、组成、作用、研究内容等不同角度解释和说明了空间推理的含义。例如,空间推理是使用空间目标的位置、形状和方位等信息以及目标之间的空间关系解决空间问题的有效方法,每种空间推理方法必须给实体特定的空间概念集及相应的推理规则;空间推理是从空间事实和空间关系推导关于空间信息的一个过程,空间事实是有关诸如存在物、描述特征和位置地点的事实,空间关系是空间实体之间的关系,如相交、连通等。

空间关系是指空间实体之间一些具有空间特性的关系,它反映了实体内部或实体与实体之间在空间上所存在的关系。空间实体之间的关系除了一般的数值和逻辑关系外,还有拓扑、距离、方位、相似等关系。空间关系主要是由两个空间实体的几何位置和形状所决定。空间关系的分类方法有多种,主要包括空间拓扑关系、空间方向(或方位)关系和空间距离关系三大类。

6. 地理空间推理的主要研究对象

地理空间推理除了具有常规推理的一般共性之外,还具备自身的一些特性。地理空间特性是地理空间推理中所考虑的主要特征,这种空间特性是指地理空间实体的位置、形态以及由此产生的系列特征。地理空间推理不仅要处理空间实体的位置和形态,而且应当对空间实体之间的空间关系进行处理。

地理空间推理机制的研究主要集中在空间关系的形式化表达,以及空间关系的推理方法上。从广义上讲,地理空间关系所包含的内容比较丰富,例如:空间拓扑关系、空间方向(或方位)关系、空间距离关系、空间邻近关系、空间相似关系、空间相关性等。为了提高地理空间推理的效率,也需要研究适合空间目标表达的空间数据索引。目前,空间推理的研究主要集中在如下几个方面:

(1) 根据空间目标的位置,基于给定的空间关系形式化表示模型,推断空间目标之间的空间关系。学者们讨论比较多的是“空间拓扑关系”,例如,基于 2D-String 模型,根据空间目标在每个坐标轴上投影的起始点和终止点的位置关系,推断目标之间的空间关系;基于 4 交集或 9 交集模型,把空间目标看成点集,根据两个空间目标点集的边界、内部和补集之间的交集是否为空来推断空间拓扑关系。

(2) 根据空间目标之间的已知基本空间关系,推断空间目标之间未知的空间关系。该研究涉及到空间关系推理规则的表示和推理策略。

(3) 利用空间推理,从空间数据库中挖掘空间知识,也可以利用事件推理的方法进行空间目标的模糊查寻。

第二节 地理空间推理研究现状

一、部分研究机构与学者

空间推理的研究机构在国外比较多,甚至分布在不同的学科领域,涉及该内容的主要国际会议是:人工智能国际联合会议(International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI)、空间数据处理国际会议(International Symposium on Spatial Data Handling, SDH)、欧洲人工智能会议(European Conference on Artificial Intelligence, ECAI)、美国国家人工智能会议(National Conference on Artificial Intelligence, NCAI)、空间数据库进展专题会议(Symposium Advances in Spatial Databases, SSD)、空间信息理论国际会议(International Conference on Spatial Information Theory, COSIT)等。欧洲空间推理研究中心(SPACENET)是一个由多所大学联合的空间推理研究中心,它分布在欧洲的12个SPACENET站点,例如英国利兹大学、德国汉堡大学、法国 Paul Sabatier 大学、意大利 Genova 大学、瑞士 Ecole Polytechnique of Vienna 大学、奥地利 Technical University of Vienna、西班牙 Jaume I 大学等。

国际上有许多从事空间推理及其相关领域研究的知名学者,例如,美国匹兹堡大学的 Chang 教授研究了基于符号投影的空间关系表达和推理;美国国家地理信息与分析中心 Maine 大学的 Egenhofer 教授研究了空间拓扑关系的表达与推理;英国利兹大学计算机学院主任 Cohn 教授和 Bennett 博士研究了基于逻辑的定性空间关系推理, Cohn 教授领导的定性空间推理研究组开展了一系列基于区域连接演算(region connection calculus, RCC)理论的定性空间关系推理研究;香港科技大学计算机科学系 Papadias 博士研究了基于最小外接矩形的空间关系表达和空间方向关系的层次推理。我国吉林大学计算机科学系刘大有教授、国家基础地理信息中心陈军教授、武汉大学郭庆胜教授等很多学者也从不同方面对地理空间推理进行了研究,例如陈军教授领导的研究小组研究了基于 Voronoi 图的 GIS 空间关系理论、空间关系判别的算法、空间关系的应用等。我国从事该方面研究的学者还有很多,在后面的相关章节中会有部分介绍,也引用了其中很多学者的研究成果,在这里就不作详细介绍。

二、主要研究成果

近年来,人们对空间推理的理论和实践投入了越来越多的关注,进行了广泛和

深入的研究,取得了很多研究成果,下面对这些已有成果进行简要介绍。

1. 空间推理的本体论研究

本体是一个源于哲学的概念,其含义为存在的实体,用于表示事物的本质。本体论的研究是一种方法学研究,它研究概念化世界的定义、安排和表示。本体是有关本身、个性的概念,与认识论相对应,是研究存在本身、研究客观世界的本质的理论。本体是发现客观现实中结构和普遍性的工具,是对领域知识概念的抽象和表示,是知识表达和抽象的工具。本体论是对概念化模型的形式化发展,它在知识概念认知、形式化表示、编码实现等方面都表现出很大优势。近一二十年来,本体论已被计算机科学领域广泛采用,用于知识获取、知识表达、知识共享及重用。

Genesereth 和 Nilsson(1987)将本体定义为概念化的某些方面的明确的说明或表达。美国斯坦福大学知识系统实验室的 Gruber(1992)认为,本体是对概念化的详细说明,即本体是概念和关系的详细表达。Heijst、Schreiber 和 Wielinga(1997)认为,本体是关于那些存在于具有知识的对象中的实体理论,是对一个概念结构进行的明确的知识层表示,本体的界定受到它所关心的特定领域和任务的影响。Guarino(1997, 1998)对信息系统使用本体进行了深入研究,认为本体是一个逻辑理论,它对所关心的逻辑语言中的模型进行约束;认为本体是一个解释正式术语内在意义的逻辑理论,本体的承诺约束了采用这些术语的逻辑语言的内在模式。

Cohn 和 Hazarika(2001)按照本体论的观点,提出了空间关系知识表示的几个本体论问题:

1) 空间实体的基元

在数学空间理论中,一般认为点(或者点和线)是空间实体的基元,而将区域等扩展的空间实体定义为点的集合。在定性空间推理(Qualitative Spatial Reasoning, QSR)领域,更倾向于将空间区域作为空间实体的基元。其理由是,任何现实世界中物体的空间延伸类似于空间区域,我们一般所称的“点”大多数不是真正几何意义上的点;同时,我们可以用空间区域来定义点。Bennett(1997)总结了空间关系理论中使用的几类最有前途的基本元素,下面略作介绍。

(1) 空间推理最常用的本体论基础是将点(点集)作为基本元素,复杂空间目标可以看作由点组成。

(2) 基于感知数据的研究,这种几何学思想来自 Whitehead(1929)和 Nicod(1924),主要受 Russell 的认知理论的影响。

(3) 区域作为基本元素可以看作是基于点和感知数据本体之间的一种折中方案。虽然区域是空间的严格的抽象划分,却比点更接近感知数据,区域可以拥有特定的性质。

(4) 把体作为物理目标的形式化方法,廖士中等(1997)采用闭球模型表达和推导拓扑关系。

(5) 空间目标的语言表示是有关空间推理的存在主义观点,这类目标通常由可数名词(如桌子、茶杯)个体化,每个目标带有自己的识别标准。

(6) 按照 Corbett(1985)的单元理论,任意空间实体可以看作是由点、线、面和体单元组成的图形子集。空间实体可以根据其空间维数划分为点状实体(0-单纯形)、线状实体(1-单纯形)、面状实体(2-单纯形)和四面体实体(3-单纯形)。二维欧氏空间中任意一个空间实体对应于二维拓扑空间上的一个 2-单纯形,因此二维平面图的集合结构均可以通过二维单纯形来表示。

2) 嵌入空间的实质

嵌入空间一般包括度量空间、 n 维欧氏空间、离散的度量空间等。因此,人们习惯上将嵌入空间看作 R^n ,也可以将嵌入空间看作是离散的或者有限的,这样可能对实际应用更有帮助。

3) 推理计算的基元

我们一般的看法是,这种基元的集合应当很小,不仅是因为数学上的简洁性的要求,使得它更易于评价该理论的一致性,而且因为当使用更少的基元集合时,会将这种符号系统的界面进行简化。但是也有相反的观点,认为作为结果的符号推导可能更加复杂,具有更大和更丰富的概念集合更加自然,而这些概念用很多公理以不同的方式给出其意义。

4) 多维空间建模

空间建模的一种方法是分别考虑多维空间的每一维,将每一个空间区域分别投影到每一维并且沿该维进行推理。但是,这种方法并不是很充分的,因为将两个目标分别投影到 x 轴和 y 轴上面,可能会得到相交的投影,但事实上这两个目标可能不相交。因此,这种方法只适用于矩形的和正交的目标。

2. 空间推理的基本方法

空间推理的方法有很多,石纯一和廖士中(2002)分析了当前的主要空间推理方法,认为定性空间推理的方法主要包括以下几种:

1) 公理化方法

这种方法一般是以逻辑学或者部分学(mereology)为基础,选择一组基本的关系和谓词,建立一类空间概念和空间关系的公理和推理规则,以此来表示并处理定