

国家自然科学基金成果

地 图 代 数

(第二版)

胡 鹏 游 涟 著
杨传勇 吴艳兰

武汉大学出版社

修订说明

《地图代数》一书出版并选作研究生教材和本科生高年级参考教材已近 5 年。在多年该课程的教学和科研实践基础上,特对第一版内容作如下修订:

(1)订正了初版中遗留的一些文字差错。

(2)针对栅格度量严密定义的缺失,以及忽视欧氏度量准确性、严密性的现状,增加了这方面的论述。

(3)针对数字高程模型的基本理论问题——DEM 高程精度,摒弃了机械的中误差平方和组合,代之以新型的函数误差和偶然误差组合。

地图代数作为一种新兴的规则点集的数学方法,近年来的发展很快,但它们是本书的纵深和新支,本书作为基础和向导,内容和篇幅仍保持原有规模。

尽管我们对本版作了认真的修订,但仍会存在一些问题,敬请读者批评指正。

作者

2006 年 7 月

内 容 提 要

地图是数据符号尺度空间中的集合,是大自然广义图形的抽象集合,是地理信息系统(GIS)最直接的原生地。地图代数是点集描述这类图形,以点集变换与运算的代数观念来全面而本质地阐述图形符号可视化及空间分析的理论与方法。

全书共分上、下两编。上编(1~6章)为可视化部分,是以具备有相对定位优先级的栅格点集进行地图的编、绘一体化的阐述;下编(7~14章)为空间分析部分,是以尺度空间的基础——量度为基础,讨论若干有相对独立性的基础空间分析问题。

本书可供地学类理工科研究生和本科高年级学生使用,也可供相关专业的教师、工程技术人员和科研工作者参考。

序

地球科学悠久的发展历史告诉人们,新的科学技术总是提供给地学工作者以新的手段来更有效、更完善地完成生产、生活和科学研究对他们提出的任务。在地理信息系统及其可视化技术已成功地广泛应用于社会生产和人们生活的各个阶段,其理论上的滞后已见端倪。虽然对地理信息管理和视觉化等研究有显著成就,但对地理分析和重大生态环境过程的模拟等还未见明显效验。地学工作者不得不因循已有章法来认识思维和实践,因此,人们迫切要求一种新的理论与技术基础。

地图代数经历十余年的研究与试验,在地理空间分析和可视化理论与技术方面提出了新的模式,通过大量试验,证实了这一体系的可行性,摆脱了原有模式的多种局限性。

地图代数体系把地球椭球体视为整体研究对象,超越了传统的欧几里得空间的局限性,这为大区域(以至全球)地理空间信息的定位和研究提供了统一而规范的基础。这对现代经济全球化的趋势下,把地球作为一个统一整体来研究是十分有益的。

以下略举地图代数的特点:

(1)地图代数摆脱了传统地图制作的静态方式,提出了动态成图的方式。为此创建了各种变换的理论与方法,提供了高效的运算软件。

(2)地图代数加强和发展了尺度空间中栅格模式的运算和应用,如多重多边形叠置分析,精密、高效的DEM的建立理论、方法和精度分析。通过实践证明方法的优越性。

(3)地图代数尤其能高效精确地解决一系列涉及确定国际分界线的技术问题。对于特别广大的陆地或海域,又要精确定位的特殊界线(如一个国家的沿海经济专属界线、国际海域分界线,乃至地球动力学机理空间分析),地图代数方法大有用武之地。

(4)地图代数以定义尺度空间中的线、面等普遍图形的Voronoi图、障碍Voronoi图、地球尺度空间的Voronoi图等理论研究丰富了近代计算几何的成果。

从地图代数研究初始,解决传统地图编制中的一些局限性问题以来,历经十多年的研究,胡鹏教授等不断将这一研究主题在理论与应用上进行了深化、改进、扩充和拓展,进行了实验,取得了可喜的成果,并总结经验,形成这本专著。可以说是源于地图科学而又推广到地理空间大范围GIS研究,为数字地球的研究提供了统一的地理基础和准备了良好的应用条件。

愿土生土长的地图代数根深叶茂!

胡毓钜

2001年12月于武汉大学

前 言

“地图代数研究”于1989年由国家测绘局立项,本意是探讨栅格点集制图的理论和方法,中间几经周折而多次停顿,经过多次的演变和延扩,终拓展到空间分析,形成了今天的面貌。笔者感谢国家科学著作出版基金会的资助,没有他们在后面推动与鼓励,仍是琐事缠身,难得专心撰稿,也不可能会有本书的出版。自以为,很多该做的未做,做了的也未做好,心里忐忑不安。

21世纪是科学和技术一体化的信息时代。以“数字地球”为契机,地理信息科学和产业正迅猛崛起,“这就从更高层次上提出了对于支撑和指导这一集成化技术系统的技术及其应用方法的地理空间基础理论的研究,只有完善的技术体系和完备的科学理论相结合,21世纪的地理信息系统的科学基础方能更臻成熟。”

地理信息科学在“地学信息流程的动力学机理与时空特征”上的不成熟性是很明显的:迄今的地理信息系统以欧氏空间 E^n 近似代替地理空间,地理空间尚无精确的可视度量,自然也无地理空间精确分析的基础,离阐明地学信息流程的动力学机理的时代要求差得很远。资源极度开发,生态变异,环境恶化均是“地球村”现象,是地理科学回避不了的全球性问题,在构建大规模地学工程的同时或之前,加强这方面的理论探索是必需的,地图代数在这方面所做的一点努力,仅是呈现我们的意愿和期待!

本书分上、下两编,上编为可视化编,意图是以具备有相对定位优先级的栅格点集进行地图的编、绘一体化的阐述,实验表明这是切实可行的;下编为空间分析编,基础在第7、8、14章,以尺度空间的基准—量度为基础,讨论若干有相对独立性的基础空间分析问题。本书得到的一些有意义的结果,集中阐述在结束语中。我们为第二编空间分析部分各主要论断提供了按章分类的实验工具软件模块,可网上下载(下载网址: www.sres.whu.edu.cn)。

本书集成了较长时间以来众多师生的辛勤劳动,并承蒙胡毓钜先生热忱帮助和支持。地图代数研究先后得到了多种基金资助。1992年前测绘基金项目“地图代数研究”主要研究人员为:胡毓钜、胡鹏、游涟、祝国瑞、何宗宜、艾自兴、陈成勇;1992年以后,国家自然科学基金项目“地图代数实验系统”主要研究人员为:胡毓钜、胡鹏、游涟、陈成勇、张烽、刘建华;1997年测绘基金项目“地图代数后续研究”主要研究人员为胡鹏、张烽、刘建华、杨传勇、胡海、罗朝平;2000年测绘基金及国家自然科学基金项目“数字地球和大型GIS空间数学基础”主要研究人员为:胡鹏、胡毓钜、吴艳兰、杨传勇、李国建、胡海。

本书第3、4章由游涟教授撰写,并且统阅、审校、定稿上编,胡鹏教授撰写了本书的其余章节,统阅、审核、定稿下编,并对全书进行适当调整;吴艳兰审校了第7、8、9、11章文稿,并和孔丽红完成了这些章节大部分插图,并完成第11章的大部分实验;亢江妹、朱秀丽完成了第12、13章的大部分实验和插图,且由亢江妹完成了本书的磁盘稿及初编,胡海完成了第7章的部分实验;徐敬仙完成了第6章中线线相关研究和实验;杨传勇完成了下编的其它大部分实验和插图,并集成编辑了供网上下载的实验工具软件。

感谢胡毓钜教授为本书作序、审读及所提宝贵意见。感谢国家测绘局科研处的同志和自然科学基金委的同志。感谢武汉大学出版社。

作者

2001.9

目 录

上编 可视化部分(代数制图)

第 1 章 地图的代数概念.....	1
1.1 代数学的若干基本概念	1
1.2 地图的代数观点	2
1.3 地图代数的由来与发展	6
第 2 章 地图代数的数据组织	10
2.1 数据库的一般概念.....	10
2.2 地学数据的数据类型.....	14
2.3 地学关系型数据库 HG-DB 的设计及基本结构	19
2.4 地学数据库的数学基础.....	24
2.5 变换中的边界问题和 P4T 方法	31
2.6 空间数据的组织和数据检索.....	38
2.7 数据编辑和输入(添加)	47
2.8 地学数据库的并库.....	50
2.9 HG-DB 的输出	53
第 3 章 符号论	55
3.1 地图结构与符号.....	55
3.2 点状符号的数据结构.....	58
3.3 线状符号的数据结构.....	61
3.4 面状符号的数据结构与汉字库.....	65
第 4 章 符号化的代数方法	68
4.1 概述.....	68
4.2 点状符号的自动配置.....	69
4.3 线状符号的自动配置.....	71
4.4 地图注记的自动配置.....	77
第 5 章 地图动态编绘的代数方法	84
5.1 代数法编绘的数据源.....	84

5.2	制图综合的数学原理.....	85
5.3	编绘预处理的若干步骤与算法.....	90
第6章	图的变换和运算.....	95
6.1	地图代数中地图的物理形态.....	95
6.2	预处理变换及运算.....	96
6.3	基本运算.....	99
6.4	功能运算.....	101
6.5	宏功能运算.....	104
6.6	地图代数编绘一体化小结.....	113

下编 空间分析部分(代数分析)

第7章	距离变换.....	115
7.1	距离.....	115
7.2	实体间的距离.....	118
7.3	求距方法与类型.....	120
7.4	地图代数的距离变换.....	121
7.5	小结.....	133
第8章	几个重要变换.....	135
8.1	缓冲区变换.....	135
8.2	加壳变换和蜕皮变换.....	137
8.3	粘连变换和蚀断变换.....	139
8.4	结构线(形态分析)变换.....	143
8.5	边界提取变换,模块匹配运算.....	147
8.6	小结.....	147
第9章	Voronoi图.....	149
9.1	Voronoi图定义.....	149
9.2	V图生成方法.....	150
9.3	V图的意义和应用.....	159
第10章	地图图形的形状综合概说.....	162
10.1	点实体的形状概括.....	162
10.2	线状实体的形状综合.....	165
10.3	多边形的综合.....	175
10.4	若干复杂图形的综合.....	181
10.5	小结.....	183

第 11 章 DEM 生成及三维分析	185
11.1 DEM 生成的若干方法	185
11.2 误差分析与模型	193
11.3 最优 DEM 线性生成法——MADEM(Map Algebra DEM)	201
11.4 小结	217
第 12 章 网络图分析	218
12.1 网络图分析中若干基本概念	218
12.2 地址匹配与查询	219
12.3 路径分析	220
12.4 资源及消耗分配——设置问题	225
12.5 网络最大流	230
12.6 爆管分析	236
12.7 小结	237
第 13 章 叠置分析	238
13.1 叠置分析的概况	238
13.2 栅格多边形叠置和数据的动态组织	240
13.3 多元信息分析方法	243
13.4 多重栅格多边形的叠加和分析	245
13.5 应用实例	252
13.6 栅格图的光滑放大	255
第 14 章 地理分析的空间	262
14.1 欧氏空间 E^n 和地球科学	262
14.2 “数字地球”与大型 GIS 的空间数学基础	262
14.3 我国大型 GIS 建设的路线和地球空间数据框架	268
14.4 椭球面上的精密距离分析	275
结束语	278
附图	285
附录	292
主要参考文献	294
后记	297

上 编 可视化部分(代数制图)

第1章 地图的代数概念

理论上图形与图像的理解和处理,属于约束不充分的问题,因而它的最佳解的解算及评价也是一个模糊性质的问题,要完善解算和评价,理论上是困难的,正因为如此,我们采用了代数化的途径,把地图制作的全过程用代数学的理论和方法来进行描述,在此基础上用代数工具来解决最为困难的问题。

地图代数是采用代数观点全面阐述地图本质和制图过程的理论和方法,也是地理分析的有力工具。

当代地图学的发展与地理信息系统(GIS)以及遥感的发展紧密相连。从它本身而言,它是确定的图形符号模型,而从数据来源看,它既有来自确定符号模型的,又有来自图像的,后者受各种客观因素(以确定的和随机的)模糊的方式影响。因而地图代数从范围而言,涉及了图形与图像,从方法工具而言,既采用了精确的、确定的模型方法与工具,又采用了一些统计的、模糊的模型方法与工具。

1.1 代数学的若干基本概念

数学是客观事物性质的抽象,科学的抽象可以更本质地反映事物及其联系。例如,整数集合及其加法使整数事物的增加和减少的结果从最原始的经验计数中解放出来。可以这样说,数学是人类文明大厦的基石。为地图学的数学化,我们在此引入代数学的概念。

代数学把若干固定事物的全体叫集合,其中一个事物称为集合中的一个元素,一般用大写英文字母表示集合,如A集合、B集合,而用小写字母表示一个元素,如a、b。集合A中的一个元素a可表示为 $a \in A$,读作“a属于A”。

把几个集合 $A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n$ 中任一个元素 (a_1, a_2, \dots, a_n) ($a_i \in A_i$)与某集合D中惟的一个元素d对应起来的法则,叫变换,可用T表示。元素d称为源像 (a_1, a_2, \dots, a_n) 在T下的像。

有一类特殊的变换,它是由两个集合 $A_1 \times A_2$ 到D(全部各种像d所组成的集合)所组成的,叫做代数运算。上述 A_1, A_2, \dots, A_n, D 并不要求均不相同,也可以是同一个集合。

如果一个集合A具有代数运算,则称A为一个代数系统。现在设有一个 $A \times B$ 到D的代数运算,按照定义,当给出了A中一个任意元a和B中一个任意元b,就可以通过这个代数运算得到一个D的元素d,这与普通计算的特征完全一样。

对于地图,当表达在新图上的要素完全确定并且图例也完全确定以后,在它的源图、半成品和最后成图间有那么一种联系,相似而又不同,有的是原样,有的有些变化,这种联系使源图变成了半成品,变成了成品。这种联系是有规则的,它们是有关系的各类要素图形符号相互作用的结果。

对于集合,我们经常要把它分成若干子集来加以讨论,以便使问题更加清晰,这就要使用集合分类的基本概念,同时也要使用等价关系的概念。这些概念在地图学中经常使用,只是数学中的概念更为严密,更具一般性。

关系:一个 $A \times A$ 到 D 的映射叫做 A 的元素间的一个关系。例如:有这样一个映射 $A = \{\text{所有实数}\}$ 映射 R 使

$(a, b) \rightarrow \text{对}$, 当 $a - b$ 为正;

$(a, b) \rightarrow \text{错}$, 当 $a - b$ 为负。

此处 $D = \{\text{对}, \text{错}\}$, 只有两个元素, R 为 $A \times A$ 到 D 的映射, R 是一个关系, 即是通常的“大于”。

等价关系:假如关系 \sim 满足以下规律:

反射律:当 $a \in A$ 则有 $a \sim a$

对称律:若 $a \sim b$ 则有 $b \sim a$

推移律:若 $a \sim b$ 且 $b \sim c$ 则有 $a \sim c$

那么称这种关系为等价关系, 等价关系仅是关系的一部分。

例如等于就是等价关系。此处等价关系不但适合数学上的等价关系, 而且可以推广到一般事物中。等价关系宏观上可看做与等于相当。

分类:若把一个集合 A 分成若干个称做类的子集, 使 A 中每一个元素属于而且只属于一个类, 那么这些类的全体叫做集合 A 的一个分类。

分类与等价关系也是地图上经常用到的概念, 它们之间的关系可由下面命题来表达:

(1) 集合 A 的一个分类决定 A 的元素间的一个等价关系。

(2) 集合 A 的元素间的一个等价关系决定 A 的一个分类。

(3) 由于 A 的子集仍是集合, A 可以分类, 其子集一类又可以分类, 只要非空, 这个过程可以循环连续下去。在实际制图过程中, 这种情况是很多的。

相应于分类, 还有下列二个定义也是重要的, 一个是代表, 另一个是全体代表团。

若集合 A 有一个分类, 那么一个类中任一个元素叫做这个类的一个代表, 全部由各个类的一个代表形成的集合叫做一个全体代表团。

当人们把研究的事物科学而适当地分类后, 挑选一个全体代表团, 使形式化后的各种算法合理地对全体代表团的有效成员进行处理, 这是现代信息系统研究和构造的重要方法。

1.2 地图的代数观点

有了前述论述, 我们来讨论地图这一代数系统。我们的目的不是为代数化而代数化, 而是抽象地分析地图的本质, 找到符合地图本质的数学工具。

1.2.1 地图概念的思考

地图的本质是什么? 这一直是地图科学研究的起点和重点。

较长时间以来, 人们定义地图为“根据一定的数学法则, 使用符号, 通过制图综合将地理表面缩绘到平面上的一个表象, 它反映各种自然和社会现象的空间分布、组合、联系及其在时间中的变化和发展”。但是这种定义已为各种天体地图、数字地图以及影像地图的反例所突破。

ICA 专门工作组的 Board 和 Weiss 提出了地图是“地理现实世界的表现或抽象, 以视觉的、

数字的或触觉的方式表现地理信息的工具”这是至今见到的一个比较本质而全面的地图概念。然而它对于符合上述定义的地理考察文字记载、统计图表、风景照的归属判定实在是很不明确。实质上,任何对客体的表述,都是各种形式的抽象,它们都是符合上述定义的,但不都是地图。另外还有人提出“地图是空间信息的抽象模型(符号化模型)”,简单、本质地反映了地图的主要特征,但具有明显的缺陷,因为地学信息不仅仅是空间信息,另外,空间信息有宏观、中观、微观之分……

地学最基本的问题,必须从地图的哲学部分——认识论的角度考察。

地图所反映的是地学实体,是地学领域的事物和现象,是地学信息及其相关信息(采用“地学”一词比采用“地理”一词更为全面),它的空间尺度相对于人类的一般活动是宏观的。它反映环境空间地学实体的集合,是观念的产物,是对实体的一种模拟,就是模型。这种模型是对环境空间中地学客体集合的时、空、质、数客观特性的全面抽象,而并非单一抽象。例如,“#”单纯的空间抽象只是数学空间的点或面,单纯的质量抽象只是供人、畜饮用的点状水源,而地图上的“#”,则把空间、时间、质量以及数量都统一表达了。

抽象程度由人们的认识水平和地图主题所决定。抽象可以是逐次的、渐进的,正确而适度的抽象是地图的科学美。地图具有形象生动的特点,是因为它采用了图形符号,这是地图上所示现象的第五特性,也是非客观的特性,是人们传输信息的信号或工具,是地图的艺术美。

这样,地图显示地学及相关现象或实体就具有一物五性或五位一体的特点。因此,地图是环境空间中地学实体集合的质量、数量、时间、空间特性全面抽象的图形符号模型。这种模型可以是二维的、三维的、数学的或是实物的和其他形式。

现代信息革命,诸如计算机图形学、数据库和信息系统等的发展并没有给地图概念带来任何不确定的东西。任何信息系统中的数据必须是组织好的相关的数据体,而不是无组织的数据垃圾。在其中,若没有按“地图”——即五位一体地去组织数据的信息系统,无论怎样是出不了地图的,也不存在什么“数据的地图”。

简言之,地图是地学及其相关信息的图示。

图示即图形符号模型,这并没有降低地图的地位。这是因为,人的大脑具有大约150亿条神经元,其中有一半以上是服务于视觉的,因而人类拥有处理视觉信息所需的高度进化能力,视觉是人类传输和接收信息最宽阔的大道,它最易理解,最易沟通思维。图示在信息世界中占有独特位置,它具有极高的信息密度,图采用平行方式传输信息,其传输通道宽、速率高,图对人的传输和接收具有层次……它是表达大系统的产品,认识大系统的有力工具。

现有关于地图信息传输正确而有效的阐述,实质上大都是在认识论的范畴内进行的。事实上,任何知识都是信息的传输,任何书籍也都是信息源和信息的通道。地理的信息也是可以通过信号语言文字来传输的,但千言万语难以表达图的一角,这说明信息的传输有各种渠道,而图具有其独特的特点和方式。这样笼统地采用信息传输可以概括地图的概念,但缺乏个性,不够贴切。

当地学内容的符号系统确定之后,地图的形式定义是图形符号的空间集合,它具有全部图示的一般规律:即由数学基础所决定的可量测性,严密的分级符号系统,符号的清晰可读及意义的惟一性和艺术特点。

可以认为,地图是地学及其相关信息的图形符号模型。它的形式定义是图形符号的空间集合。

有人问,为什么要加一个形式定义呢?这是因为不仅仅地学范围,存在诸如地质、地理、地

震、重力、天文、测绘、地球物理、地球化学、政治历史等方面的地图,而且也存在一些虚拟的空间(Virtual Reality)的“地图”。随着家庭电脑及多媒体技术和虚拟实境技术日新月异的发展,这种“地图”也将风靡全球。另外,从制作角度而言,由于对象的广泛性,无处不有、无所不包,制图对象选取的正确与否、表达符号形式与内容的美观、全面与否、符号定位与实际准确与否……均是第二位,第一位的是采用指定的符号在指定的位置完美地表达出来并正确处理显示符号之间的关系。因而形式化定义是采用计算机来完成信息处理和表示的必须途径。

1.2.2 地图模型

由前述地图的定义,我们就可以得到,地图是一类空间点集,这也是它的物质形态。

将上述地图的概念采用集合模型表达即:

$$\text{MAP} = \{\{P_i\} \{L_j\} \{A_k\}\} \quad (1-1)$$

式中 P_i 表示地图的某点状符号, L_j 表示某线状符号, A_k 表示某面状符号。

上述地图的表达是基于符号比例等价关系的符号比例分类的表达。地图中还有一种经常使用的分类,就是按地理要素等价关系进行的地理要素分类,即

$$\text{MAP} = \{\{f_c\} \{f_l\} \{f_w\} \{f_b\} \dots\} \quad (1-2)$$

式中 f_c 表示居民地要素符号, f_l 表示道路网要素符号, f_w 表示水系要素符号, f_b 表示境界要素符号。其中任一类 f_q 按几何形态又可表示为子类集合(其中某类的某个子类可以为空集):

$$f_q = \{\{P_i\} \{L_j\} \{A_k\}\} \quad (1-3)$$

它们在形式上理论上也都是地图,简称子图。同样:(1-1)式也可有类似(1-2)式的子类表达。

对于符号,我们定义它为符号空间的具有定位基准的标准点集,即

$$S_i = \{x, y, c\} \quad (1-4)$$

式中 x, y 为符号空间内的坐标, c 为颜色码。定位基准在 $\{x, y, c\}$ 集中指定位置, S_i 可为 P_i 或 L_j 或 A_k 。

顾及(1-1)式、(1-4)式,地图又可表示为

$$\text{MAP} = \{X, Y, C\} \quad (1-5)$$

X, Y, C 为地图空间坐标,由 $x, y, c \rightarrow X, Y, C$ 要经过一个成图变换——符号化。

1.2.3 一些基本定义

引入上述基本概念后,我们对这些概念的量值进行一些基本定义和规定。地图代数还具有下列几种基本对象类型。

1. 元集和元矢量

元集是像元的二维欧氏空间的集合点集,其每一个集合点的坐标矢量称为元矢量。二维欧氏空间的点坐标取值范围,我们定它为整数集,这是因为栅格点集对应于一定几何分辨率,在此分辨率下,各点坐标取值为整数或者说可视为整数。可表示为

$$\bar{e} \in E, \bar{p} = (x, y) \in Z^2, Z \text{ 为整数集} \quad (1-6)$$

式中 E 为元集,指数 2 表示二维。

2. 值集和值元

值集 F 定义为元集的取值范围,比如灰度、色码、高程等,对地图代数而言,它是定义为整数集或码长为 1 的二进制数集(对于黑白位图),而值元 f 则定义为值集 F 中某个取值,比如上述黑白位图中的 1 或 0。

3. 元图

若 E, F 分别为给定的元集和值集, 那么元图 M 则是定义在 E 上取值 F 的函数, 表示为

$$M = \{(\bar{e}, C(\bar{e}))\} \quad (1-7)$$

式中 $\bar{e} \in E, C(\bar{e}) \in F$ 。这样 E 可称为元图 M 的元集, E 的取值范围(这时是 F 的一个子集)称为元图 M 的值集, $(\bar{e}, C(\bar{e}))$ 称为元图 M 的一个像元, 此处 $C(\bar{e})$ 表示定义在元位置矢量上的一个值, 例如颜色、灰度、高程及其他。 E 中所有取值 F 的元图集合定义为 F^E 。一般 F 为整数集 Z 或码长为 K 的二进制数集。

在此必须指出, 地图的定义与元图的定义形式是类同的, 但是元图既可以是地图, 也可以是影像, 而地图则是由符号确定形式所限定的。元图, 一般也采用 X, Y, C 三维来表示。

4. 模板 T

若 E, G 均表示元集, F 表示值集, 则模板 T 定义为由 G 到 E 取值 F 的元图, 即

$T: G \rightarrow F^E$ 。其中 G 称为 T 的定义域, E 称为 T 的值域。

上述抽象意义的 T 可以这样来理解: G 为一个小的元集, 也可认为它是一个小窗口, 并可设定其上各元的 F 值, 用来放在大的元集 E 上各处考察或与 E 上定义的元图 M 发生各种作用。一般也可用 x, y, c 三维来表示。

5. 符号空间与符号

符号的定义已由前(1-4)式所述。它更严密的定义可如同模板, 它实际上是由分辨率所决定的较大型的模板。这时 G 就是符号空间, T 即是符号库中的一个符号。

符号与模板之所以要分别介绍是由于两者使用场合与方式的不同。一般地讲, 符号空间比模板要大很多, 而两者又均是一种“小的元图”。符号空间采用 X, Y, C 三维来表示。

6. 实体与目标

实体这个词在前面已多次使用, 指的是具有相对独立性质的地学现象或物体。所谓相对独立是这样一概念: 比如在某些情况下, 我们把一片园林当做一个地学实体, 采用一个面状符号来表示; 可是在某些情况下, 又必须把它详细地分解为一系列单棵树木和其他物体来表示。对于后者, 地学实体就是各单棵树木或其他物体, 而对于前者, 一个实体即为一片园林, 它是由于所侧重的用途和目的不同而决定的。

所谓目标, 一般指的是各地学信息系统中用来组织各种数据的最小逻辑单位。因此, 它必然与地学实体相联系, 或者说两者相当, 前者用在数据世界, 后者用在观念世界。

所有目标符号的正确表达即是地图, 一个目标一般用一个地图上的符号或符号组合来表达。

从客观的角度看, 机助制图乃至地理信息系统曾有过一些误导: 即把数字化误认为目标化加数字化, 把目标的集合代替集合的目标。

实际上数字化是解决模数转换的问题, 它把模型转换为数据以便使用计算机处理, 而目标化则是把模型按需要和目的分解为以目标为逻辑单位的组织。由于数据的共享性, 它所碰到的目的和需要是经常变化的, 事先的目标化不一定切合某一实际的使用, 很多情况下只需要也必须按集合来解决和处理, 比如在地图的使用和制作过程中, 很少以单个要素出现, 而大多以区域或类的形式出现, 即以集合的目标形式出现, 且一般把它统一地放在第二平面上; 对于地理信息系统而言, 尽管经常需要把地理要素分解为单个目标来使用, 但其目标的范畴是动态的。可以说, 人类认识过程是永恒的, 目标的分解与组合也是永恒的, 企图一次性地同时完成目标化和数字化会带来不少烦恼。

现在矢量数字化途径,采用把模拟的地图模型一次性地变为数据。在这个过程中,由于图形与图像理解及识别属约束不充分问题,因此只有一律采用人工分离识别、抽象化、数字化,把模型全部转为数据。这样做,形式上是可以充分利用地图这个信息源,然而人们并不是仅仅依靠文字或数据这种单维形式来传递和接收信息的,也不是以数字形式为最好。

当前席卷全球的多媒体浪潮实际上回答了这个问题。所谓多媒体是指用计算机交互地综合处理多种媒体信息——文本、图形、图像和声音,使多种信息建立逻辑连接,并具有交互性,其最终目的是为了处理具有形象思维的信息产品。多媒体技术并非是完全数字化技术,而是依靠人的听、说、视、触多种感官,是靠数字与模拟混合以解决形象思维问题的。人的大脑中有 150 亿个神经元,其中 75% 以上服务于视觉,人的信息获取 78% 是由视觉而来,在这方面,目前模拟比数字的能力和效率高得多。

因此可以说,目前机助制图发展的两个瓶颈问题是由于机助制图与 GIS 采用的途径本身所决定的。

1.3 地图代数的由来与发展

地图代数作为一个新的科学概念,它不是出自一时的愿望或灵感,而是地学信息处理发展的必然产物。

1.3.1 机助地图制图发展的两个主要瓶颈

世界范围内对饥饿、贫困与环境恶化的斗争,使地学信息的获取与处理成为信息行业中的热点。地学系统是仅次于人的一个大系统。地学信息具有数据量大、类型复杂、用途广泛、处理的多过程性、多尺度性与动态性,相应地作为地学信息图示的机助地图制图发展遇到了两个瓶颈:一个是数据输入、更新、信息输出的单尺度和静态性;另一个是空间分析问题。

地学信息行业的发展,使机助制图自然引进地理信息系统之中,两者对象一样,工具一样,目的也一样。地学信息的图示是机助制图的目的,也是 GIS 功能中必需的组成部分,而 GIS 的发展也是由机助制图开始的。

目前,单纯为制图目的而输入数据进行数字化,固然还或多或少地在进行,但是大多数机助制图已和 GIS 结合为一体,以 GIS 的数据库作为自己的数据库,并为 GIS 中静态的和动态的地理信息的图示服务。尽管实体数字化大大扩展了自己的用途,但是它仍然是机助制图的主要瓶颈。

一个区域(尤其是大区域)的地理实体数量十分巨大,其相应数据的组织输入、检查及数据洁净工作更是惊人。除了实体数量巨大外,每个实体均具有“自己的空间”数据,都具有各自的系统量度和参数。为统一系统的空间,必须进行“拼图”、“接边”,这两项连同图幅的矢量目标化等三项技术工作占据了一个 GIS 工程 85% 以上的投资和工作量。分析和实践表明,相对于今天 GIS 的更新能力和手段,由于按实体组织数据的矢量目标化特点,使目标之间、图幅之间联系紧密,当基础信息更新量达图幅的 10% 时,重新输入比修改更快、更经济,因而,往往兴建一个大型 GIS 历时多年,当刚完成或尚未完成时又要从头再做新的兴建。而且,区域与比例尺越大,矛盾越尖锐。

GIS 中地理信息的图示已跟传统的地图制图工艺中地图设计与编绘有很大的差别,它已不再是由一个比例尺静态地缩编另一个比例尺的地图,GIS 地图图示固然也遵循地图绘制和

编绘规则,但它的比例尺是动态变化的,它对编绘一体可视化要求十分频繁,其速度也要求快得多,往往要求在线实时完成,而当今机助制图的实际能力与它的要求差得很远,这是GIS发展的主要瓶颈,也是机助制图的瓶颈。

地理信息的空间分析是GIS最主要的功能之一,也是人们对GIS的最大的期待。“数字地球”设想的提出,“数字城市”、“数字区域”等概念和大型工程的实施,尤其对于全球生态环境问题的全社会高度重视,暴露出传统矢量描述地球椭球表面不惟一性、不准确性,分析能力的局部性、静态性。人们希望GIS能够提供系统、全面、高效、透彻的空间分析,解决资源环境中各种现实问题,然而至今大部分GIS并没有达到,并与这要求相差很大距离,甚至一些基本分析也不过关,理论和方法的局限是根本原因。为此,从理论和方法的深层探索缓解空间分析和机助制图瓶颈的途径是十分必要的。

1.3.2 遥感信息的处理和发展

遥感作为地学信息和数据的最有效、最迅速、最重要的来源,已为越来越多的人所认识。采用遥感技术不仅能快速有效地完成资源调查和环境监测,而且大大促进了多时相、多信息的综合开发和应用。它有效地使用在环境和区域监测、城市规划、地图更新、灾害预报、预测、损失估计、土地利用与评价等各种地学应用方面,更为重要的是,遥感技术能够用于全球性问题的动态监测,这为全球沙漠化、厄尔尼诺现象及酸雨、核试验及核辐射、全球生态环境变化等大范围内基本环境问题的解决提供必需的信息和解决办法,这是其他技术方法难以做到的,这对21世纪人类的发展具有重大意义。

今天航天遥感数据的处理已经取得了巨大的进步,其平面精度已达1m或更小,高程精度已可满足1:10万地形图所需,而航空遥感对于相对小的平面和高程精度已可满足任意大比例尺地形图的需要。与此同时,信息和特征提取也可满足大部分专题地图所需。很显然,遥感数据直接进入GIS和机助制图已是大势所趋和十分紧迫的事。

目前GIS和机助制图中使用遥感数据尚不是很方便,也不直接,不少情况下,仍需把遥感数据变为模拟数据,再变为机助制图的数据。这种情况,大大阻碍了遥感信息及时和全面地利用。究其原因,主要是遥感数据一般均是栅格数据,而现今成熟的机助制图系统均为矢量型数据系统,它们都难以卓有成效地处理栅格数据和进行混合分析。因此,有效地利用迅速发展的遥感数据将是提高GIS和机助制图系统效率、质量以及全方位服务社会的迫切需要。

1.3.3 电子出版、传统印刷业的发展

地学信息是人类生存环境的基本信息,地图是地学信息的图示,绝大多数地图具有较广泛的用户,绝大多数地图常与出版和印刷相联系。机助地图制图系统的产品同样如此。

我国是四大发明的故乡,纸和印刷术的发明给人类文明及科学发展带来了不可估量的影响。今天,印刷出版业已经历了革命性的变化,告别了传统的铅和火,普遍地采用计算机来进行文字录入,并采用电子照排系统进行页面处理及排版,而对于彩色图像的制版,则是利用电分机进行彩色原稿分色,彩色校正并记录分色片,再通过手工拼版的方法把文字和图像拼合在一起形成完整的页面,但是这种彩色复制速度慢、成本高、页面结构简单。

随着科技的发展和人们生活质量的提高,人们对彩色图像与文字合一的各种复杂版式的页面需求越来越迫切,期待着利用先进的通用计算机硬件和软件完成同一页面上的彩色图像和文字的输出、处理和输出,人们对高质量彩色地图的这种需求和期待与发展相一致。

从 20 世纪 80 年代中期开始,随着快速处理图像的苹果计算机、专用彩色图像处理排版软件、彩色打印机及现已成为工业标准的页面描述语言 Postscript 的出现,随着桌面出版系统和桌面分色系统的发展和成熟,彩色电子出版系统迅速在出版(包括地图出版行业)、包装、广告、设计行业推广应用,目前已完成了传统印刷业的产业革命。

顾及计算机制图和电子地图的发展与变化,Internet 网的迅猛发展,网上地图和出版物迅速普及,对于传统的地图制作和出版工艺,这完全是一场深刻的革命。它以计算机技术为后盾,以其开放性、通用性、灵活性、高质量、高效率、低成本为特征,将完全更新印刷制版的概念和格局(如无软片制版、无版材印刷等),也为撇开彩色原图、照相制版等工艺而形成高度集成的地图制作、使用及出版、印刷新工艺开辟了广阔天地。

在计算机上沟通地图制作和出版工艺的关键,在于绘图点集直接向制版点集的转换,这也召唤着点集形态的地图及其变换。

1.3.4 数学形态变换理论及其发展

数学形态学(Mathematical Morphology)是研究数字影像形态结构特征与快速并行处理方法的理论,它是基于集合论而发展起来的,通过对目标影像的形态变换来实现影像分析及特征提取。数学形态变换可以通过选择较小的特征影像的集体与研究的目标影像相互作用来实现,它可以使目标影像的形态发生具有一定特征的变化,由于它可将大量复杂的影像处理运算转换为最基本的位移与逻辑运算的组合来完成,便于并行处理与硬件实现,使算法设计灵活,处理速度加快,在医学、生物学、遥感、机器人视觉及工业控制等领域得到广泛使用,并取得了丰硕成果。

数学形态变换为地图的数字图像处理提供了分析形态变化的一些数学模型及方法,为具有确定集合形状的地图符号图形的识别、整形提供了较多的便利条件。正因为如此,采用图形处理方法的数学形态学理论和实践的发展对机助制图进步提供了一定的工具。

但是,应当看到,地图的数字图像与一般图像具有相当大的差别,其中最根本的是地图具有确定的图形符号模型,而图像处理则本质上是以几何概率理论为基础的,前者是精确的模型,后者是模糊的、概率的模型。两者应用范围的差异产生于应用模型上的质差,因而地图代数可以比较、借鉴和使用数学形态学的一些理论与方法,踩在“它的肩膀”上,从新的角度解决自己的问题。

1.3.5 计算机软硬件的发展

以栅格为对象的机助制图学过去一直停留在实验阶段,主要原因是栅格的大数据量对硬件和基础软件要求相当高,一般的设备及财力难以支持。

20 世纪 80 年代以来,随着超大规模集成电路技术与计算机性能价格比的迅速提高,使今天的普通微机已具有大大超过 70 年代超级小型机的能力,而价格降低了 2 个数量级,扫描输入、输出设备性能价格比也迅速提高,分辨率达每英寸 1 200/2 400 点的彩色扫描仪及彩色喷墨、激光打印机性能优良,价格已相当于或低于相应的矢量输入、输出设备。同时,操作系统等系统软件的长足进步,WIN95、WIN/NT、WIN2000、LINUX 等系统软件的相继推出,给充分发挥微机资源优势提供了必要的条件。

多媒体技术理论及硬、软件发展,给计算机制图的正确发展增添了翅膀,没有什么工作比绘图更需要形象思维和分析。人通过与多种媒介,如图像、图形、视频以及声音的交互作用,使