

地理信息科学尺度 及其变换机制理论研究

刘 凯/著

DILI XINXI KEXUE CHIDU

JIQI BIANHUAN JIZHI

LILUN YANJIU

中国财经出版传媒集团



经济科学出版社
Economic Science Press

地理信息科学尺度及其 变换机制理论研究

刘 凯 著

中国财经出版传媒集团



经济科学出版社
Economic Science Press

图书在版编目 (CIP) 数据

地理信息科学尺度及其变换机制理论研究/刘凯著.

—北京: 经济科学出版社, 2017. 7

ISBN 978 - 7 - 5141 - 8310 - 8

I. ①地… II. ①刘… III. ①地理信息学 - 研究

IV. ①P208. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 187820 号

责任编辑: 刘 莎

责任校对: 杨 海

责任印制: 邱 天

地理信息科学尺度及其变换机制理论研究

刘 凯 著

经济科学出版社出版、发行 新华书店经销

社址: 北京市海淀区阜成路甲 28 号 邮编: 100142

总编部电话: 010 - 88191217 发行部电话: 010 - 88191522

网址: [www. esp. com. cn](http://www.esp.com.cn)

电子邮件: [esp@ esp. com. cn](mailto:esp@esp.com.cn)

天猫网店: 经济科学出版社旗舰店

网址: [http: //jjkxbs. tmall. com](http://jjkxbs.tmall.com)

北京季蜂印刷有限公司印装

710 × 1000 16 开 13. 75 印张 220000 字

2017 年 7 月第 1 版 2017 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5141 - 8310 - 8 定价: 49. 00 元

(图书出现印装问题, 本社负责调换。电话: 010 - 88191510)

(版权所有 侵权必究 举报电话: 010 - 88191586)

电子邮箱: [dbts@ esp. com. cn](mailto:dbts@esp.com.cn))

数字制图与国土信息应用工程国家测绘地理信息局重点实验室
开放基金 (GCWD201410)

省部共建黄河中下游数字地理技术教育部重点实验室开放基金
(GTYR2011005)

河南大学地理学优势学科建设经费

资助出版

前言

尺度是人们认知和测度的依据和标准。在社会中，尺度问题无处不在。在地理信息科学以及地理学、景观生态学、水文学、遥感科学等学科中，尺度都是重要的基础性研究课题。尺度问题是地理信息科学的核心理论问题，以至于 Goodchild 提出要建立“尺度科学”。对于地理信息来讲，在其整个运动过程的每个环节从地理现象本身到测度、建模、分析处理、表达等，人们都离不开对其尺度问题的关注。传统上，空间尺度的界定标准就是地图比例尺，人们通过比例尺来界定所描述地理信息的详细程度。但是地理信息数字环境的出现，地理信息的获取、处理、分析、表达等各方面都出现了新的情况，特别是时态 GIS、虚拟地理环境、多维 GIS 等的出现，人们不仅开始关注时间与时态问题，与此同时，人们也开始注意到对于地理事物或者地理实体类型和属性抽象程度的刻画，这便是语义尺度。本书认为地理信息尺度是界定地理信息空间特征、时间特征及语义特征的标准与规范，反映了人们对于地理现象、过程的测度、分析、认知、建模、表达的范围与抽象程度。由于各种主、客观条件的限制，人们往往要从一定尺度的地理信息来获得更加概括或者更加详细的地理信息，这就是地理信息的尺度变换，尺度变换是地理信息科学的重要研究内容。通常情况下，人们往往更多地关注地理信息的空间尺度变换，实际上地理信息的尺度变换在时间和语义维度也是广泛存在的，地理信息科学尺度变换包括时间尺度变换、空间尺度变换和语义尺度变换。

本书主要在以下几个方面做了创新性的工作：

(1) 介绍了地理信息科学提出的背景与发展情况,概括了人们对地理信息科学概念及学科体系的探讨——三种主流观点的地理信息科学,探讨了尺度问题在地理信息科学中的重要性。尺度在社会中具有广泛含义,尺度是描述、判断和界定事物的依据,它是人们认知和测度的标准。综述了尺度及尺度变换在地理信息科学、地理学、遥感、水文学等学科的研究现状,并对地理信息科学研究中存在的尺度及其变换问题进行了分析。

(2) 在借鉴其他学科尺度问题研究成果的基础上,结合地理信息科学本身的特点,提出并阐述了地理信息科学中尺度的三重概念体系,即尺度的种类、尺度的维数、尺度的组分。界定了尺度的内涵及三重概念之间的关系,探讨了地理信息的尺度特性。

(3) 在阐述基于对象模型的地理信息和基于域模型的地理信息建模特征的基础上,探讨了地理细节层次的含义及其的刻画与空间幅度、粒度(分辨率)、间隔、频度、比例尺的密切关系。阐述了地理信息空间尺度的变换类型,把其分为空间尺度上推和空间尺度下推,并详细探讨了基于对象模型的地理信息的空间尺度变换和基于域模型的地理信息的空间尺度变换的变换机制。

(4) 在对时间的基本元素进行形式化定义的基础上,对地理事件线性拓扑关系进行了形式化的描述,探讨了时间尺度的变换类型与变换机制。在此基础上探讨了时间粒度变化对地理事件之间线性时间拓扑关系的影响,并以实例分析与证实了时间粒度变化对地理事件线性时间拓扑关系刻画的影响。指出在地理信息科学中,时间尺度的内涵是指对于地理过程、地理实体的空间及其属性随时间变化描述的抽象程度,这主要是通过时间尺度的组分即时间长度(幅度)、间隔、频度和粒度来刻画的。

(5) 探讨了地理信息语义、地理信息语义尺度的内涵,并在此基础上探讨了地理信息语义尺度与空间尺度和时间尺度的关系、地理本体和语义尺度的关系。探讨了地理信息语义尺度的变换机制并进行了形式化描述,把地理信息语义尺度变换分为等级关系的语义尺度变换、分类关系的语义尺度变换及构成关系的语义尺度变换,阐述了分类关系的语义尺度变换及构成关系的语义尺度变换函数的联系与区别。

第 1 章

绪论

——兼论地理信息科学 / 1

1.1 地理信息科学的提出与发展背景 / 2

1.2 地理信息科学概念的探讨——三种主流观点的地理信息科学 / 8

1.3 地理信息科学尺度问题的重要性 / 13

1.4 本书的主要内容 / 21

1.5 本书的组织安排 / 22

1.6 本章小结 / 23

第 2 章

地理信息科学与相关学科尺度及其变换 研究进展与现状分析 / 25

2.1 尺度一般意义的探讨 / 26

2.2 地理学、遥感、水文学和生态学中的尺度问题研究 / 29

2.3 地理信息科学中的尺度问题研究进展与现状分析 / 37

2.4 地理信息科学中尺度研究存在的问题 / 51

2.5 本章小结 / 55

第3章

地理信息科学中尺度的三重概念体系和尺度特性 / 57

- 3.1 地理信息科学研究中尺度的三重概念体系 / 58
- 3.2 地理信息的尺度特性 / 64
- 3.3 地理信息科学中的尺度变换 / 78
- 3.4 本章小结 / 80

第4章

地理信息空间尺度的变换机制 / 81

- 4.1 基于域模型和基于对象模型的地理信息 / 82
- 4.2 地理信息中的空间尺度内涵（组分）与
地理细节层次 / 88
- 4.3 空间粒度 / 94
- 4.4 空间尺度变换 / 102
- 4.5 基于域模型的地理信息的空间尺度变换机制 / 131
- 4.6 本章小结 / 141

第5章

地理信息的时间尺度变换机制 / 143

- 5.1 地理信息时间特征的形式化定义 / 144
- 5.2 地理信息时间尺度变换 / 151
- 5.3 时间粒度变化对地理事件
线性时间拓扑关系的影响 / 155
- 5.4 地理信息多时间尺度分析的
小波变换方法举例 / 160
- 5.5 本章小结 / 163

第 6 章

地理信息的语义尺度变换机制 / 165

6.1 地理信息科学中的语义尺度及其表征量名 / 166

6.2 地理信息科学中的语义尺度和地理本体的关系 / 172

6.3 地理信息科学中语义尺度的变换 机制及其形式化描述 / 176

6.4 本章小结 / 183

第 7 章

总结与展望 / 185

7.1 总结 / 186

7.2 主要创新工作 / 187

7.3 展望 / 188

参考文献 / 191

后记 / 209

地理信息科学尺度及其
变换机制理论研究

Chapter 1

第1章 绪 论

——兼论地理信息科学

1.1 地理信息科学的提出与发展背景

地理信息科学产生是地理信息系统技术及其应用发展到一个相当水平后的必然要求 (Goodchild M., 1992)。地理信息系统从 20 世纪 60 年代中期萌芽,到现在差不多过了半个世纪,已经发展得相当成熟,地理信息系统作为传统学科地理学与现代信息技术相结合的产物,正逐渐发展成为一门处理空间数据的现代化综合学科。地理信息系统的发展和应用使得人们往往面对相关的科学理论问题,而不仅仅是技术问题。Goodchild 于 1992 年提出了地理信息科学的概念,1992 年在国际杂志 *IJGISystem* 上发表 *Geographical Information Science*, 从而标志着地理信息科学作为一个学科正式成立,自此关于地理信息科学理论、方法的研究与相关活动,在国际上也逐渐展开、活跃。例如,1996 年国际杂志 *IJGISystem* 改名为 *IJGIScience*, 美国国家科学基金委从 1997 年 2 月至 2000 年 2 月资助了地理信息科学相关的 Varenius 研究项目。地理信息科学的出现是地理信息系统发展与广泛应用的必然结果。在过去的十几年中,地理信息科学已经成为学术研究的焦点 (Kark D. M., 2003), 在一定的程度上它是关于地球的一门新的学科,就像二十年前认知科学对于脑科学是一门新科学一样 (Gardner, 1985)。地理信息科学的出现使人们对地理信息的关注从技术层面逐渐转移到理论层面。实际上,20 世纪 80 年代,美国地理信息系统协会的一些研究者就开始发展一些组织去开拓他们与此相关的研究兴趣;1992~1993 年开展了一系列的讨论;1994 年在科罗拉多的 Boulder 年召开了地理信息科学发展史上具有重要意义的会议;1996 年美国地理信息科学大学联合会提出了地理信息科学的十大前沿研究领域。

1.1.1 地理信息技术的发展

20 世纪 60 年代中期地理信息系统出现萌芽 (陈述彭等, 1999), 加拿大的 Tomlinson 和美国的 Marbel 在不同的地方、从不同的角度提出了地理信息系统。1962 年 Tomlinson 提出利用数字计算机处理和分析大量的土地利

用数据,建议建立加拿大地理信息系统(CGIS),以实现地图的叠加、量算等操作,1972年CGIS投入使用。Marbel利用数字计算机研制数据处理软件系统,以支持大规模城市交通,并提出建立地理信息系统软件系统的思想。与此同时,英国等也开始了相关的研究。陈述彭(1999)等把地理信息系统的发展分为四个阶段:20世纪60年代是地理信息系统的开拓期,注重于空间数据的地学处理,开发了一些地理信息系统软件包,如美国哈佛大学研究开发的Symap、马里兰大学的MANS等(陈述彭等,2002);70年代为地理信息系统的巩固时期,注重于地理信息的管理;80年代为地理信息系统技术大发展时期,注重于空间决策支持分析,地理信息系统应用日益广泛,并得到了各个国家政府的支持,成立了相应的研究机构;90年代是地理信息系统的用户时代,一方面地理信息系统成为许多部门的必备工具;另一方面,社会对地理信息系统的认可度更高,使其应用更广泛和深入,成为现代社会的基本服务系统。21世纪初,随着新的信息技术,如Web技术、虚拟现实技术、多媒体技术等的发展以及其与GIS的结合应用,地理信息系统出现了网络化、时态化、多维化、组件化等新的特点,地理信息系统的社会化更为突出。

伴随着地理信息系统的发展,地理信息的获取与传输技术,如卫星遥感(RS)、全球定位技术(GPS)、网络技术(Web)也获得了极大发展,虚拟现实技术的出现,使地理信息的表达更加符合人的认知特点。遥感作为一门技术是在20世纪60年代出现的。1960年美国学者Pruitt为了比较全面地概括探测目标的技术和方法,把以远距离与非接触方式获得被探测目标的影像或数据的技术称为遥感,并于1962年在美国密执安大学等单位举行的环境科学讨论会上被正式采用。最早出现的是航空遥感,用于军事领域。1903年出现了世界上第一架飞机,1915年出现了世界上第一台航空专用相机,之后航空遥感被广泛用于军事侦察,20世纪20年代后也被广泛应用于地质、土木工程的勘测和制图等领域。最初主要是黑白摄像技术,“二战”之中出现了彩色、红外和光谱带照相技术。航天遥感技术出现于20世纪70年代。1972年美国发射了第一颗地球资源技术卫星,以后陆续发射,共发射了六颗这样的卫星,从第二颗卫星起改名为陆地卫星。20世纪80年代以后,法国、俄罗斯、加拿大也陆续发射一系列卫星,航天遥感技术进入全面发展和应用的

新阶段。热红外成像技术和微波遥感技术是近几十年来发展起来的、具有美好应用前景的两类遥感技术。随着传感器技术、航空和航天平台技术、数据通信技术的发展,现代遥感技术已经进入一个能够动态、快速、准确、多手段提供多种对地观测数据的新阶段。目前遥感技术正由定性、静态向定量动态发展。空间分辨率越来越高,民用的已达到米级,而军事用途的可达到分米级;光谱分辨率已达到纳米级,波段数已增加到数十个甚至数百个;回归周期更短,有的已达到十几个小时。卫星遥感不但可以实现地理信息的实时更新,而且分辨率也越来越高,同时它的数据的获取范围也越来越大。卫星遥感的发展使得海量的地理信息数据的快速获得成为可能,但是目前能被利用的只占数据总量的 20% 左右(程继承等, 1999)。

1973 年美国国防部组织海陆空三军,共同研制建立新一代卫星导航系统“Navigation Satellite Timing and Ranging/Global Positioning System”,即“授时与测距导航系统”,通常称为“全球定位系统”(GPS)(王惠南, 2003)。它是以卫星为基础的无线电定位、导航系统,可为航天、航空、航海、陆地、交通测绘等部门提供不同精度的、在线或离线的空间定位数据。主要被用于实时、快速地提供目标,包括传感器和运载平台的空间位置。GPS 整个系统由空间卫星、地面监控站和地面接收机三部分组成。GPS 全球定位系统的空间星座由 24 颗卫星构成。24 颗卫星部署在 6 个轨道平面中,每个轨道平面升交点的赤经相邻 60° ,轨道平面相对地球赤道面倾角为 55° ,每个轨道上均匀分布 4 颗卫星,相邻轨道之间的卫星要彼此错开 30° ,以保持全球均匀覆盖的要求,轨道的平均高度为 20200 千米,运行周期为 11 小时 58 分钟。这样可保证在地球的任意一点上可同时接收到 4 颗以上卫星发出的信号,从而实现瞬间定位。地面监控站目前有 5 个,分布在全球范围,用于检测和预报卫星的轨道。用户接收机由天线单元和接收机单元组成,主要用于解码、分离导航电文、进行相位和伪距测量。利用 GPS 定位,是把卫星视为“飞行”的控制点,利用地面接收机同时测量它到几颗卫星的距离,通过构建方程组求得接收天线的所在地面位置。卫星的瞬间坐标可通过卫星的轨道参数计算得出。目前,世界上用于空间定位的系统除了 GPS 外,还有俄罗斯的 GLO-NASS 系统和我国的北斗定位系统。卫星授时与测距导航系统不仅可以实时准确地提供位置信息,同时也能够进行精确测量。

虚拟现实技术是一项涉及计算机图形学、数据库技术、人机交互技术、传感技术、人工智能技术等领域的综合集成的高新技术。它用计算机生成虚拟逼真的三维及多维场景,通过一些特殊的装置可以使人参与到场景中去,通过视觉、触觉等多感觉通道与虚拟世界进行交互,产生身临其境的感觉,感知虚拟世界的变化。虚拟现实的概念最初是由美国著名计算机专家 Jaron Lanier 于 20 世纪 80 年代提出的,90 年代以来已在娱乐、军事、科学研究、建筑设计、机械制造等领域得到成功的应用(曾建超、俞志和,1996)。虚拟现实技术应用于地理信息系统便出现了虚拟现实地理信息系统(张晶、邬伦,2002)。伴随着虚拟现实技术的出现和发展,出现了虚拟地理环境,这使得地理信息的表达更加适人化、多维化、多息化,它不仅能够对三维的真实地理世界进行模拟,而且可以虚拟真实和想象的地理现象和过程。

另外,网络技术和多媒体技术的发展都促进了地理信息技术的发展和应用的推广。遥感技术、全球定位技术、地理信息系统等现代地理信息技术的发展迫切需要理论来支撑。

1.1.2 地理信息科学的提出与发展

随着社会的发展,人类社会已经从工业化社会进入信息化社会,人们的生产和生活对于信息的需求越来越多,依靠越来越严重,信息和知识已经成为我们生产和生活的基础,其中地理信息和地理知识是其重要的组成部分。地理信息,有时也称空间信息,是地球表层一定地方的一组事实(UCGIS, 1996),是有关位于地球表层附近的要素和现象的信息(Goodchild et al., 1999)。实际上,人们统计过,地球上的信息 80% 与空间信息有关。地理信息具有海量、丰富、结构复杂、社会需求量大、难以处理、应用广泛的特点,在过去的几十年中,地理信息的获取、传输、储存、处理、应用已经成为世界各国学术界、产业界关注的焦点,同时也是多学科交叉研究的对象。随着遥感技术、地理信息技术、全球定位技术、互联网技术、多媒体技术、虚拟现实技术的出现和快速发展及其相互间的渗透和集成应用,出现了以地理信息系统技术为核心的地理信息技术体系,为解决地理科学相关的问题以及国民经济建设和社会发展提供了技术上的保证。地理信息系统技术的应用大大

提高了人类处理和分析大量有关地球资源、环境、社会与经济数据的能力,而地理信息技术及其应用的进一步发展则必须以地球信息基础理论为基础(陈述彭等,1999)。陈述彭(1996,1997)认为地理信息系统已经不仅仅局限于研究物质与能量流的信息载体,而且包括研究地学信息流程的动力学机理与时空特征、地学信息传输机理及其不确定性与可预见性等,提出了地球信息科学(Geomatics, Geoinformatics)的概念。事实上, Laurini 等(1992)、Ehlers 和 Amer(1991)也提出过相关概念。

在世界上地理信息技术发展程度最高的美国,1992年, Goodchild(1992)提出了地理信息科学(Geographical Information Science)的概念,认为地理信息科学主要研究在应用计算机技术对地理信息进行处理、储存、提取以及管理和分析过程中所提出的一系列基本问题。地理信息科学的提出是地理信息系统以及相关空间信息技术(如RS、GPS等)发展及集成应用的必然结果,它是在人们不再满足于仅仅利用计算机技术来对地理信息进行可视化表达及其空间查询,而是也强调地理信息系统的空间分析和模拟能力时产生的。地理信息科学在注重地理信息技术发展的同时,还注意到了与地理数据、地理信息有关的其他一些理论问题,如地理信息本体、地理数据的不确定性、地理信息的认知,以及社会对于地理信息的认可等,它更强调支持地理信息技术发展的基础理论问题(UCGIS, 1996)。我国李德仁院士(1996)也认可这一概念。

地理信息科学概念提出后,已越来越广泛地被学术界接受。1994年12月,代表美国主要地理信息科学研究力量的33所大学、研究所和美国地理学家协会(AAG)代表聚会,协议成立美国大学地理信息科学协会(University Consortium for Geographic Information Science, UCGIS)标志着地理信息科学这一概念得到了美国科学界的承认。1999年初,美国国家科学基金委员会(NSF)的一个工作组,在其向委员会的报告中提出了地理信息科学的一个“完整”的定义。1995年,美国国家地理信息与分析中心(NCGIA)向NSF提交了一份命名为“推进地理信息科学”的研究建议(Goodchild et al., 1999),将新形成的地理信息科学定义为基于3个基础研究领域的一门科学,分别是:①地理空间的认知模型;②地理概念表达的计算方法;③信息社会的地理学。这一研究建议简称为瓦伦纽斯“三角形”,瓦伦纽斯“三角形”颇不平衡,但建议与完成的研究报告详细勾画了地理信息科学当今的研究水平,为学科勾画

了研究前沿与未来发展走向，是西欧北美地理信息科学家最为权威的研究成果（刘妙龙、周琳，2004）。1996年美国地理信息科学大学联合会提出了地理信息科学的十大前沿研究领域。

作为才出现十几年的一门地球新科学，地理信息科学是当今活跃的主要学术领域之一。

1.1.3 地理信息科学、空间数据基础设施与数字地球

地理信息科学和地理信息技术的发展为空间数据基础设施（Spatial Data Infrastructure, SDI）和数字地球（Digital Earth）奠定了坚实的理论和技術基础。空间数据基础设施是指用于采集、处理、加工地理空间数据（或称地理信息），并进行管理、维护分发服务和组织协调的基础设施体系（李德仁等，2002；UCGIS，1996；陈军，1999）。空间数据基础设施可分为国家的、区域的、全球的等几个等级。人们首先提出建设的是国家级的空间数据基础设施（NSDI），即在国家的范畴内统筹规划和协调地理信息化工作，按照统一的数据标准和信息技术标准，生产和整合多种空间分辨率的地理数据，将纵横分布的地理数据库连接起来，使全社会能充分地利用和共享地理空间数据。经过多年的努力，我国分别于1994年、1999年底建成了全国1:100万和1:25万地形数据库、数字高程模型库、地名数据库，成为目前国家空间数据库框架的重要内容。1:5万数据库也在建设之中。数字地球建立在全球网络基础设施平台之上，以时空框架整合多源海量数据，并以深度与广度开发空间信息资源为基本特征，是继国家信息基础设施（NII）与国家空间数据基础设施（NSDI）之后的又一新的信息基础设施。早在1992年，美国副总统戈尔就从生态环境和全球气候变化的角度提出了数字地球的概念（阿尔·戈尔，1997），在《濒临失衡的地球》一书中戈尔写道：

还没有人知道如何处理每天从轨道上扫描下来的庞大数据。我们过去从未想到能收集到这么多的数据。为了整理和解释数据，我提出了一个姑且称为数字地球的计划，旨在建造一个新的全球气候模型。它能处理从不同来源收集的、与今日概念不同的数据。

（阿尔·戈尔，1997）

数字地球是地球科学与信息科学技术的综合,是一场新的技术革命,它不仅能促进地球科学与信息科学技术的发展,而且还能推动信息产业和数字农业等大型产业的形成,从而推动整个社会经济的发展。前科技部部长徐冠华院士(2000)认为数字地球是遥感、数据库与地理信息系统、全球定位系统、宽带网络及仿真虚拟现实等现代高科技的高度综合和升华,是当代科学技术发展的制高点。本质上来讲,数字地球就是信息化的虚拟地球,它包括地球内部及其表层大部分要素的数字化、网络化、智能化、可视化。数字地球以政府引导的空间信息基础设施的建设为起点,在大力推进空间信息共享和现有信息系统交互操作的基础上,形成广泛数据源融合、地理信息资源综合利用的基础设施。

数字地球概念提出后,许多国家纷纷制定自己的应对策略,并将数字地球作为重大发展机遇。加拿大、澳大利亚、新西兰、日本等许多国家已开始研究和建立各自的国家空间数据基础设施(NSDI)。跨国家的区域空间数据基础设施(RSDI)和全球空间数据基础设施(GSDI)也引起有关国家的高度重视。空间数据基础设施建设和建立数字地球需要地理信息科学为其提供理论和技术的支撑。

1.2 地理信息科学概念的探讨—— 三种主流观点的地理信息科学

1.2.1 地理信息科学及相关概念的探讨

地理信息科学这一学术术语出现后,同时也出现了与之相近的一些叫法,如地球信息科学(陈述彭等,1997)、地球空间信息科学(李德仁等,1998)等。人们对于地理信息科学概念的内涵并没有完全一致的观点。国内外的学者从不同的视角给出了地理(地球)信息科学的概念(Goodchild,1992;陈述彭等,1997;UCGIS,1994;NSF,1999;李德仁等,1995,1998;杨开中等,1999;舒红,2003;Andrew F. et al.,2004),如表1-1所示。