

张治国 主编

生态学空间分析 原理与技术

● Principle and Technology of Spatial Analysis in Ecology



科学出版社

www.sciencep.com

内 容 简 介

本书以科学性、系统性、实用性与易读性为宗旨,试图结合生态学系统研究数据的特点,从数据的集成方法入手,以空间分析原理为基础,介绍生态及环境数据集成的理论与方法、生态环境空间数据的表现和生态学空间分析的技术。以国际上领先的 ArcGIS 为平台,介绍生态数据空间分析的操作方法,为生态环境信息系统的研究提供基础,为区域生态系统管理与决策提供技术支持。内容包括生态数据空间分析、ArcGIS 空间分析模块简介、空间分析快速入门、空间问题的模型化、栅格数据分析、基于 TIN 的分析模型、空间分析工具、地统计分析快速入门及基本原理、探索性空间数据分析、用地统计方法创建表面、使用分析工具生成表面、地统计图层的显示与管理等。

本书适于生态学、环境学、地理科学及相关专业的学生学习,可作为单独一门课程开设,也可作为数量分析课程的一部分。同时可为科学研究、工程设计、规划管理等科技人员提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

生态学空间分析原理与技术/张治国主编. —北京: 科学出版社, 2007

ISBN 978-7-03-019280-6

I. 生… II. 张… III. 地理信息系统—应用—生态环境—环境保护—研究 IV. X171 P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 097158 号

责任编辑: 陈 露 韩 芳 / 责任校对: 连秉亮
责任印制: 刘 学 / 封面设计: 一 明

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>

南京展望文化发展有限公司排版

江苏省句容市排印厂印刷

科学出版社出版 各地新华书店经销

*

2007 年 7 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2007 年 7 月第一次印刷 印张: 20 1/4

印数: 1—2 500

字数: 462 000

定价: 45.00 元

前 言

随着对地观测、社会经济调查、计算机网络和网络信息处理能力的迅速提高,生态学空间数据正在以指数方式急速增加。生态学的研究需要进行更加精确的定量研究来支撑,所以在现代生态学研究,空间分析和基于地理位置的生态学研究越来越得到重视。通用和专用的时间、空间数据结构,应用于具体生态学系统的管理信息系统以及对这些海量空间数据进行深加工以获得高附加值的信息产品的空间信息分析技术成为生态学空间研究的主要领域。

统计分析是常规数据分析的主要手段。然而,传统统计学在分析空间数据时存在致命的缺陷,这种缺陷是由空间数据的本质特征和传统的统计学方法的基本假设共同造成的。传统的统计学方法是建立在样本独立与大样本两个基本假设之上的,对于空间数据,这两个基本假设前提通常都得不到满足。空间上分布的对象与事件在空间上的相互依赖性普遍存在的,这使大部分空间数据样本间不独立,即不满足传统统计分析的样本独立性前提,因而不适于进行经典统计分析;另一方面,由于人力、物力资源的制约,生态学空间数据采样困难,导致样本点太少而不能满足传统统计分析方法大样本的前提;生态学空间数据通常的不可重复性进一步造成了空间数据分析的特殊性。专门的空间信息分析理论、方法和技术自 20 世纪 60 年代末开始得到认识并研究。

空间数据大体上可分为空间离散或连续型数据(可互相转化),以及多边形数据两大类。自然科学多涉及前者,而社会经济科学多涉及后者。随着人地一体化研究趋势的发展,对两类数据进行综合分析的趋势日益显露。目前空间数据分析软件包已有不少,主要来自两大学科领域:地理学和地质学。由于地理学和地质学研究对象不同,所涉及的数据特点和分析方法不同,造成两大流派在软件功能、结构、风格上的不同。在欧美,20 世纪 60 年代经历了地理学计量革命,其主流是试图将社会经济时空格局和过程数学公式化。在 GIS 趋于成熟和空间数据迅速膨胀的技术条件下,当时的学者成为现今地理信息科学的主要推动者,造成地理学者所研发的空间信息分析软件包多带有处理多边形数据(社会经济统计单元,遥感像元数据亦属此类)的特点。相反,源于地质学的空间分析软件包一般适用于分析离散和连续的数据。生态学空间分析是自然科学与社会科学的有机结合,因而这两类分析方法对生态学空间分析具有同样重要的意义。

空间信息分析理论和技术较为复杂,对于一般科研人员而言掌握难度大,耗费精力多。为此,美英两国都已建立了相应的国家级研发计划,更有甚者,全球销量最大的 GIS 基础软件的研发者美国环境系统研究所在 ArcGIS8 及以上版本已集成了地统计学模块,目前正在积极争取集成美国国家基金会资助完成 Lattice 数据分析模块,该功能可以被几

乎所有从事地理信息管理的用户所使用,进行空间信息的分析和深加工。

基于 GIS 的生态环境信息系统突破了传统的生态环境管理系统的开发模式,由传统的管理统计数据方式的信息系统向管理以空间数据为主的生态环境信息系统转变,使生态环境管理与决策建立在空间数据与属性数据结合的基础上,通过空间数据与属性数据的结合,进一步进行空间分析,挖掘隐藏在数据背后的信息。同时通过 GIS 可视化的功能使信息及空间分析的结果以各种直观图形、图表、多媒体的方式显示出来,并可以进一步通过网络进行生态环境信息共享。

本教材试图结合生态系统数据的特点,从数据的集成方法入手,以空间的分析研究方法为基础,介绍生态环境数据集成的理论与方法,生态环境空间数据的表现与可视化的方法,生态学空间分析的技术。以在国际上领先的 GIS 软件 ArcGIS 为平台,介绍生态数据空间分析的操作方法,为生态环境信息系统的研究提供基础,为区域生态系统管理与决策提供有力的技术支持。

本书适于生态学、环境学、地理科学及相关专业的博士生和硕士生学习,可作为单独一门课程开设,也可作为数量分析课程的一部分。由于经验不足,书中错谬之处敬请指正。

本书编写过程中山东大学生命科学学院的领导给予了大力帮助。科学出版社的编辑付出了辛勤劳动,在此一并致谢。

编 者

2006 年 6 月于济南

目 录

第 1 章 生态数据空间分析引论	1
1.1 生态数据空间分析及其意义	1
1.2 生态数据与地理信息系统	5
第 2 章 ArcGIS 空间分析模块简介	10
2.1 从数据中提取信息	11
2.2 确定空间关系	12
2.3 寻找最佳地址	12
2.4 运输成本计算	13
第 3 章 空间分析快速入门	14
3.1 地理数据的显示和扩展	14
3.2 最优地址的选取	22
3.3 生成最优路径	32
第 4 章 空间问题的模型化	42
4.1 空间问题的模型化	42
4.2 空间分析的概念模型	43
4.3 运用概念模型创建适合度图层	45
第 5 章 栅格数据	48
5.1 栅格数据的概念	48
5.2 坐标空间与栅格数据	51
5.3 离散数据与连续数据	53
5.4 栅格图像的分辨率	54
5.5 栅格图像的编码	55
5.6 栅格数据集中的要素表示	56
5.7 栅格数据集中的属性添加	57
5.8 空间分析中直接使用矢量数据	58
5.9 从已知地图中衍生栅格数据集	59
第 6 章 基于网格的分析模型	61
6.1 如何理解空间分析模块中的分析	61
6.2 空间模块中的表达式和函数	62

6.3	空数据类型及其在空间分析中的作用	67
6.4	网格值及其含义	68
6.5	分析环境设定	69
6.6	分析中的投影设定	70
第7章	空间分析环境设置	71
7.1	创建临时或者永久结果	71
7.2	设定结果储存文件夹	72
7.3	运用掩膜工具	73
7.4	坐标系统设置	74
7.5	分析区域设置	75
7.6	网格尺寸设置	75
第8章	空间分析工具	77
8.1	距离函数	77
8.2	密度函数	83
8.3	栅格插值函数	85
8.4	表面分析函数	89
8.5	网格统计函数	98
8.6	邻域网格统计函数	99
8.7	类统计函数	102
8.8	重分类函数	104
8.9	栅格计算器	107
8.10	矢栅转换函数	110
第9章	ArcGIS 地统计分析简介	114
9.1	ArcGIS 地统计分析模块	114
9.2	数据统计属性分析	114
9.3	半变异函数建模	115
9.4	表面预测与误差建模	116
9.5	制作阈值图	116
9.6	模型验证与诊断	117
9.7	使用协同克里格法进行表面预测	118
第10章	地统计分析快速入门	119
10.1	快速入门指南	119
10.2	利用缺省参数创建一个表面	120
10.3	数据检查	124
10.4	制作臭氧浓度图	130
10.5	模型对比	136
10.6	创建臭氧超出某一临界值的概率图	137

10.7 生成最终成果图	139
第 11 章 地统计分析基本原理	146
11.1 确定性插值方法	146
11.2 地统计分析方法	148
11.3 举例说明地统计分析的过程	149
11.4 地统计方法的基本原理	154
11.5 半变异建模	156
11.6 克里格法	166
11.7 地统计分析扩展模块指南	171
第 12 章 探索性空间数据分析	173
12.1 什么是探索性空间数据分析	173
12.2 探索性空间数据分析工具	175
12.3 检验数据的分布	184
12.4 寻找全局和局部离群值	188
12.5 全局趋势分析	193
12.6 检测空间自相关及方向变异	195
12.7 多数据集的协变	198
第 13 章 用地统计方法创建表面	202
13.1 地统计插值方法简介	202
13.2 理解不同的克里格模型	203
13.3 克里格法生成的不同表面类型	205
13.4 用克里格缺省值创建一幅图	206
13.5 克里格变换和趋势	207
13.6 普通克里格方法的基本原理	208
13.7 使用普通克里格法创建一幅地图	209
13.8 简单克里格法的基本原理	212
13.9 用简单克里格法创建一个表面	213
13.10 泛克里格法的基本原理	218
13.11 应用泛克里格法创建地图	219
13.12 理解阈值的有关内容	220
13.13 指示克里格法的基本原理	221
13.14 利用指示克里格法创建地图	222
13.15 概率克里格法的基本原理	223
13.16 应用概率克里格法创建地图	224
13.17 析取克里格法的基本原理	225
13.18 应用析取克里格法创建地图	226
13.19 协同克里格法的基本原理	230

13.20	应用协同克里格法创建地图	231
第 14 章	使用分析工具生成表面	233
14.1	检测空间结构: 变异估计	233
14.2	半变异函数与协方差函数建模	239
14.3	确定邻域搜索范围	244
14.4	如何确定邻域搜索范围	247
14.5	交叉验证和验证	250
14.6	利用交叉验证来评定参数选择	253
14.7	使用验证方法评价决策草案	255
14.8	不同模型之间的比较	257
14.9	模拟分布状况确定变换方法	260
14.10	使用各种变换方法	262
14.11	使用正态积分变换	263
14.12	检验双变量正态分布	263
14.13	检验双变量分布	266
14.14	消除集群调整优化采样	266
14.15	从数据中剔除趋势	268
14.16	从数据中分离全局和局部趋势: 趋势剔除	269
第 15 章	地统计图层的显示与管理	270
15.1	什么是地统计图层	270
15.2	添加图层	273
15.3	在地图中编辑图层	275
15.4	图层管理	277
15.5	在 ArcCatalog 中浏览地统计图层	278
15.6	地统计图层的表达	280
15.7	改变地统计图层的符号	283
15.8	数据分类	285
15.9	数据分类操作	288
15.10	设置地统计图层的显示比例尺	290
15.11	预测研究区域以外的点的值	291
15.12	地统计图层的保存和输出	292
第 16 章	其他地统计分析工具	295
16.1	改变一个地统计图层的参数: 方法属性	295
16.2	特定位置上的预测值	296
16.3	对由子集生成的地统计图层进行验证	298
	词汇对照	302
	参考文献	308

第 1 章 生态数据空间分析引论

1.1 生态数据空间分析及其意义

1.1.1 生态数据空间分析的必然性

生态学这个词汇出自希腊语 *oikos*, 表示房子的意思, 由德国的动物学家 Ernst Haeckel 在 1870 年所创造。按照《牛津英语字典》, 这是“作为生物学的一个分支, 论述生物之间以及生物和它所生存的物理环境之间的关系”。捕食者和被捕食者之间的相互作用以及植物对资源的竞争是这些关系中的例子。这种相互作用可能受种群统计和环境方面波动的影响, 并且在很大的时空范围内发生。科学本身的好奇对研究生态学是一个巨大的推动作用, 但是理解种群关系以及它们之间的相互作用不仅仅是一个学术活动。人类依赖生态系统来提供净化的水和空气、维持土壤、控制害虫、处理废物、营养再循环以及其他许许多多的服务。这些过程都是通过种群之间以及种群和环境之间错综复杂的相互作用来控制的。我们正在以史无前例的速度改变着我们的环境, 其中土地利用方式的变更和非本土物种的入侵是最突出的。这些人为导致的生态环境的变化破坏了生态系统的功能, 并经常伴随着毁灭性的后果。土地用途变更的例子, 例如林地转变成耕地, 伴随的土地侵蚀导致水土流失和土壤养分再生; 大量的由于物种入侵剧烈地改变生态系统的例子, 例如, 水风信子, 这种植物土生土长在亚马孙河, 被认为是世界上最恶性的入侵性植物之一, 现在已经覆盖了热带地区的许多江河湖泊。土地用途的变更以及物种入侵是种群灭绝的两个主要因素。据估计, 由于人类活动的影响已使种群的绝灭率增加了 $0.1\% \sim 1\%$ 。

生态学实验和理论工作对于我们理解生态系统如何作用和尽力成功地管理和保护它们都是非常重要的。我们应该明白, 数学家在建立、分析模型和把理论运用到实验工作等方面与生物学家密切合作是十分重要的。这本书将围绕一个因素——空间进行讨论, 这个因素在理论和实验生态学研究日益占主导地位。我们生活在一个空间世界中, 在生态群体的形成方面, 生态作用的空间因素被认为是一个非常重要因素, 理解空间的角色无论是在理论还是在实验上都具有挑战性。

科学技术的发展不仅为地理信息系统(GIS)的发展注入了新的活力, 也为现代生态学的研究提出了一系列崭新的问题。现代生态学蕴含着信息科学及技术的理论与方法, 研究探索诸多更为巨大、更为复杂的现实问题。同样, 作为支撑技术的 GIS 中空间分析

(spatial analysis, SA) 与现代生态学研究相结合, 不仅可以拓展 GIS 的内涵, 而且也加快现代生态研究的进程。

1.1.2 空间分析的定义

研究者的出发点和侧重点不同, 对空间分析的定义也不同。在生态学中空间分析是基于生态学系统空间布局的数据分析技术, 是生态科学研究空间分布和空间变异的一种方法。它以生态学系统空间布局为分析对象, 从传统的数量统计与数据分析的角度出发, 将空间分析分为三部分: 统计分析、地图分析和数学模型。同时空间分析也是基于生态学系统位置和形态特征的空间数据分析技术, 其目的在于提取和传输空间信息, 因此生态空间数据分析也包括空间位置分析、空间分布分析、空间形态分析、空间关系分析和空间相关分析等。因而生态学空间分析是基于生态学系统的位置和形态特征的空间数据分析技术, 目的在于提取和传输空间信息, 用于分析具有空间坐标变量的空间特征, 并进行空间过程模拟以及空间插值的一种新型分析方法或手段, 包括空间结构分析、克里格分析、空间自相关分析以及空间模拟等技术, 是研究生态学系统空间分布和空间变异的一种重要方法。

空间分析在生态学的应用, 不仅能让研究者了解数据, 而且通过对数据的分析处理了解数据内蕴涵的更多、更本质的东西。空间分析的内容包括 GIS 中常用的空间分析: 空间查询(spatial search)、叠加分析(overlay analysis)、缓冲区分析(buffer analysis)、网络分析(network analysis)等几大模块。各模块又包括许多内容, 如空间查询是指在一组空间目标中定位或查找相应的目标, 分为定位和范围查找。将生态空间划分成一些区域, 定位就是识别所询问目标所在的区域; 而范围查找是指检索或统计在询问域内的相应空间目标。定位和范围查找是一组对偶操作, 可互相转化。

1.1.3 空间分析的基本方法

空间分析是将 GIS 数据库中各种数据(包括空间数据和属性数据)进行分析、统计, 并选用一定的数学模型模拟某一过程或事件, 最后提取隐含于空间数据中的某些事实和关系, 并以图表、文字形式表达出来, 为辅助决策提供依据。空间分析的基础是各种空间数据和属性数据, 这些数据的存储和再现都可以通过分层组织来实现, 数据的分层处理使得空间分析成为可能。空间分析的方法主要有:

- 1) 数据统计: 通过对空间数据和属性数据的分析、统计, 可以得到一些研究者感兴趣的结论, 进一步绘制成直方图、饼状图, 为后续分析提供依据。

- 2) 空间量算: 通过对空间数据、属性数据的基本测量和计算, 得到一些有价值的信息, 如长度、面积、体积, 还有物体质心的测算等。

- 3) 空间变换: 对各个地理图层作适当的变换, 可以得到新的图层和新的属性信息, 这些变换包括拓扑叠加、逻辑组合、函数运算等。

- 4) 空间拟合: 空间数据往往通过采样观测得到, 带有很大的离散性。而在利用中, 研

究者往往对未观测点的值感兴趣,这就必须利用空间拟合的方法来完成,在已存在观测点的区域内通过内插来估计未观测点的特征值。这种方法在宏观尺度和多因素综合研究中更为常用。

1.1.4 空间分析的作用

生态学中的空间分析功能可概括为以下四个方面:

1) 空间特征的几何分析功能,指以空间要素的定位数据为基础,通过数据集合的几何分析方法,确定空间要素多重属性的特征及其相互关系。方法包括包含分析、多边形叠置分析和泰森多边形等。

2) 网络分析功能,主要有优化路径选择分析、时间和距离计算、网流量的模拟分析等。

3) 数字图像分析功能,可以认为是一个图像处理的子系统,它一般包括图像恢复、图像增强、分类和信息提取、图像统计和图像管理等主要功能。

4) 地形分析与多元分析功能,其中地形分析是生态学研究最为常用的分析方法,利用地形分析可进行地形因子的自动提取(如坡度、坡向等),地表形态自动分类和典型剖面的绘制和分析等,高精度的数字地面模型(digital terrain model,DTM)还可用来对遥感影像进行几何校正;多元分析则包括一些多变量统计分析中常用的模型,如聚类分析、判别分析、主成分分析等。

1.1.5 空间分析的层次

空间分析功能的实现过程分为四个层次:

1) 认知,对空间数据进行有效获取和科学的组织描述,利用空间数据再现事物本身,如,由气温的空间平面图绘制纵、横剖面图。

2) 解释,理解并解析空间数据的背景过程,认识事件的本质规律,如区域内植被指数的时空分布规律与地形、土壤、气候以及人类活动等因子的关系等。

3) 预报、了解、掌握事件发生的规律,运用预测模型对未来状况做出合理推测,如预测全球变化影响的深度和广度等。

4) 宏观决策和调控,根据 SA 结果做出合理决策,调控地理空间上发生的事件,如合理分配各种自然资源等。

1.1.6 空间分析在生态学研究中的作用

空间分析在生态学相关领域的研究中有着悠久的历史与传统,数学概念与方法的引入,从统计方法扩展到运筹学、拓扑学乃至分形理论等方法的应用,进一步促进了其定量分析的能力。然而在目前的 GIS 中,这方面的功能没有得到充分发挥。随着数字地球计划的提出,作为数字地球技术基础之一的 GIS 将起到举足轻重的作用,此时的 GIS 不是

简单的应用范围的扩大,而是一个质的飞跃,有利于生态学家对瞬时信息进行定性分析、空间信息的定位分析、时间信息的趋势分析以及信息的空间综合等。现代生态学将拥有新的内涵,而空间分析是现代生态学最具挑战性的学科。总之,从定量空间分析的角度生态学空间分析在以下四方面已经或可以得到极大发展。

1) 空间统计和格局:例如,自然灾害的空间分布、物种的空间分布以及遥感影像上识别对象的空间分布。生态学要素的空间分布格局是生态过程机理的空间体现,反过来又构成新一轮生态过程的边界和初始条件。因此,对于生态学要素空间格局的描述、识别和统计对认识生态学机理、因果关系有极大的帮助。

2) 空间过程模拟:例如,物种扩散、栖息地扩展、洪水演进、流行病传播、大气环流形成等,可以根据其物理机制建立常微分或偏微分方程,微分方程的解析是头脑的逻辑推理过程。在这一领域,数学起主导作用,GIS起数据支撑和运行平台的作用,而生态学空间分析才是真正的实施者。

3) 空间相互影响:例如,土地利用变化与物种格局的关系、群落演替与物种多样性的关系、污染物迁移转化、空间隔离与遗传多样性的相互作用等,利用状态变量和影响因素之间的关系类比建立数学模型,并用实测数据回归获得参数,然后进行分析预测。这项工作可以认为是生态空间分析的主要研究领域。

4) 空间运筹:例如,自然保护区的空间布局、水资源时空配置、污染物排放时空优化、空间监测采样优化设计等。当前世界许多城市和地区面临缺水的威胁,随着全球气候变暖,这一趋势更为加剧。水资源的空间配置是一个优化问题,其目标是在区域水资源总量不足的背景条件下,有效地将水资源在不同的子区域、行业和时间上进行配置,使全区域社会经济和生态效益最佳,其整个过程都需要空间分析这个工具来实施与操作。

强大的空间分析功能逐渐构成现代生态学日臻完善的技术体系。尽管空间数据具有复杂性,加上生态学研究面临问题的多样性、数据源种类繁多、表达方式各不相同,但人们可以通过对地球信息机理的研究,认识大气圈、水圈、岩石圈、生物圈等圈层内部的结构特征、分布规律、演化过程以及彼此之间物质流、能量流、信息流的传递方式及其动力学机制,应用生态学、生物学及相关学科的理论及地理空间信息科学的最新成果(特别是数据标准化、分析智能化),分析并最终解决区域性或全球性的一系列生态问题。如果没有空间分析的数量化和空间化,生态学研究的发展将受到极大影响。

总之,遥感技术的应用和地理信息科学的发展,使系统分析和综合集成的方法得以应用,更为重要的是可促进生态学研究提高到新的水平。

1.1.7 生态学研究拓展了空间分析的发展空间

任何生态学系统总含有空间和时间的属性特征。如水文走线含时空特征,气团运动具有时间、空间属性,河道演变则反映了空间形态特征随时间变化的性质。而所有空间分析的对象则涵盖空间轴的过程,且因其主体的空间形态表现为点、线、片和面过程,因此空间分析方法和功能需要到生态研究中验证乃至发展,即生态学研究是空间分析的主要应用领域。

生态学空间的研究符合国际学科发展的潮流和趋势,围绕着全球环境变化与区域可

持续发展,生态学研究的前沿领域主要包括土地利用与土地覆被变化、区域生态系统的综合研究、环境演变和生态学界面过程。其中现代生态学的重要方向就是研究生态学要素的动态变化,即生态学过程。其研究趋势可归纳为:由定性鉴别向定量实验发展;由单个过程研究向过程的综合分析发展;由中小尺度的局地地理过程向全球尺度地理过程研究发展;由单纯认识生态学过程向预测预报其动态趋势的方向发展。这一切均为空间分析方法提供了验证与发展空间。

生态学研究的目的有两方面:一是揭示生态学系统各种空间现象和过程的规律,二是为资源管理、环境整治和区域发展的决策服务。目前,空间分析在生态学研究中的应用领域是管理和决策领域,即资源管理和环境整治,在生态过程模拟模型上的应用相对比较弱,但却是目前最活跃的研究领域。其主要原因是在管理和决策领域中人为因素作用影响较大,且可以运用空间分析这个强大的工具,依据过去及现在发展趋势预测将来的变化,为管理者和决策部门提供最有说服力的依据;而生态过程模拟模型以各种变化无常的自然因子组合为主要研究内容,加之现有的模拟模型在处理区域差异方面过于简单化,即由于研究对象的复杂、综合方法的落后及数据的缺乏等,致使空间分析中各种自然量值的预测存在一定的难度,因此空间分析的应用不广泛,但却是生态学发展的需要。随着近年来全球环境变化研究的展开、地球系统科学的提出,以及生态研究数据的日益丰富,空间分析发挥的作用将更大,有关生态学过程的模拟模型研究会不断深入。

1.2 生态数据与地理信息系统

1.2.1 生态数据和生态信息

生态数据是指表征生物圈或生态环境固有要素或物质的数量、质量、分布特征、联系和规律的数字、文字、图像和图形等的总称。生态信息是有关生态学系统的性质、特征和运动状态的表征和一切有用的知识,它是对生态数据的解释。在生态信息中,其位置是通过数据进行标识的,这是生态信息区别于其他类型信息的最显著的标志。生态信息具有区域性、多维结构特性和动态变化的特性:

- 1) 区域性是通过经纬网等建立的地理坐标来实现空间位置的标识;
- 2) 多维结构特性即在二维空间的基础上实现多专题的第三维结构;
- 3) 生态信息的时序特征十分明显,可以按时间尺度将生态信息划分为超短期的(如台风、地震、生物的变化节律)、短期的(如江河洪水、秋季低温、生态系统的季节变化)、中期的(如土地利用、作物估产、生产力的形成)、长期的(如城市化、水土流失、生物群落的演替)、超长期的(如地壳变动、气候变化、生物进化)等。

生态数据是各种生态学系统特征和现象间关系的符号化表示,包括空间位置、属性特征及时态特征三部分。空间位置数据描述地物所在位置,这种位置既可以根据大地参照

系定义,如大地经纬度坐标,也可以定义为地物间的相对位置关系,如空间上的距离、邻接、重叠、包含等;属性数据又称为非空间数据,是属于一定地物、描述其特征的定性或定量指标,即描述了信息的非空间组成部分,包括语义与统计数据等;时态特征是指生态数据采集或生态现象发生的时刻或时段,时态数据对环境模拟分析非常重要,越来越受到生态信息系统学界的重视。从生态实体到生态数据,从生态数据到生态信息的发展,反映了人类认识的一个巨大飞跃。

1.2.2 地理信息系统在生态空间分析中的作用

1. 地理信息系统的概念

地理信息系统(geographical information system, GIS)是一种决策支持系统,它具有信息系统的各种特点。地理信息系统与其他信息系统的主要区别在于其存储和处理的信息是经过地理编码的,地理位置及与该位置有关的地物属性信息成为信息检索的重要部分。在地理信息系统中,现实世界被表达成一系列的地理要素和地理现象,这些地理特征至少由空间位置参考信息和非位置信息两个组成部分。

地理信息系统的定义是由两个部分组成的。一方面,地理信息系统是一门学科,是描述、存储、分析和输出空间信息的理论和方法的一门新兴的交叉学科;另一方面,地理信息系统是一个技术系统,是以地理空间数据库(geospatial database)为基础,采用地理模型分析方法,适时提供多种空间的和动态的地理信息,为地理研究和地理决策服务的计算机技术系统。

地理信息系统具有以下三个方面的特征:

- 1) 具有采集、管理、分析和输出多种地理信息的能力,具有空间性和动态性;
- 2) 由计算机系统支持进行空间地理数据管理,并由计算机程序模拟常规的或专门的地理分析方法,作用于空间数据,产生有用信息,完成人类难以完成的任务;
- 3) 计算机系统的支持是地理信息系统的重要特征,因而使得地理信息系统能以快速、精确、综合地对复杂的地理系统进行空间定位和过程动态分析。

地理信息系统的外观,表现为计算机软硬件系统,其内涵却是由计算机程序和地理数据组织而成的地理空间信息模型。当具有一定地学知识的用户使用地理信息系统时,他所面对的数据不再是毫无意义的,而是把客观世界抽象为模型化的空间数据,用户可以按应用的目的观测这个现实世界模型的各个方面的内容,取得自然过程的分析 and 预测的信息,用于管理和决策,这就是地理信息系统的意义。一个逻辑缩小的、高度信息化的地理系统,从视觉、计量和逻辑上对地理系统在功能方面进行模拟,信息的流动以及信息流动的结果,完全由计算机程序的运行和数据的变换来仿真。生态学家可以在地理信息系统支持下提取生态系统各不同侧面、不同层次的空间和时间特征,也可以快速地模拟自然过程的演变或思维过程的结果,取得生态预测或“实验”的结果,选择优化方案,用于管理与决策。

2. GIS 组成

从应用的角度,地理信息系统由硬件、软件、数据、人员和方法五部分组成。硬件和软

件为地理信息系统建设提供环境;数据是GIS的重要内容;方法为GIS建设提供解决方案;人员是系统建设中的关键和能动性因素,直接影响和协调其他几个组成部分。

硬件主要包括计算机和网络设备、存储设备、数据输入、显示和输出的外围设备等。

软件主要包括操作系统软件、数据库管理软件、系统开发软件、GIS软件等。

GIS软件的选型,直接影响其他软件的选择,影响系统解决方案,也影响着系统建设周期和效益。

数据是GIS的重要内容,也是GIS系统的灵魂和生命。数据组织和处理是GIS应用系统建设中的关键环节,涉及许多问题:

- 应该选择何种(或哪些)比例尺的数据
- 已有数据现势性如何
- 数据精度是否能满足要求
- 数据格式是否能被已有的GIS软件集成
- 应采用何种方法进行处理和集成
- 采用何种方法进行数据的更新和维护,等等

方法指系统需要采用何种技术路线,采用何种解决方案来实现系统目标。方法的采用会直接影响系统性能,影响系统的可用性和可维护性。

人是GIS系统的能动部分。人员的技术水平和组织管理能力是决定系统建设成败的重要因素。系统人员按不同分工有项目经理、项目开发人员、项目数据人员、系统文档撰写和系统测试人员等。各个部分齐心协力、分工协作是GIS系统成功建设的重要保证。

3. 地理信息系统能够回答的生态问题

首先是位置问题。即“在某个特定位置有什么样的生态系统或特种”的问题。位置可以用多种方式描述,如名称、编码、地理参照物等。其次是条件问题。即“在哪里”的问题。这个问题与上述相反,并且需要依靠空间分析来回答。这个问题要求找到满足某个条件的地点。(比如要找到一块无林地,要求是面积为 $2\,000\text{ m}^2$,距离公路 100 m 以内,土壤可以适合于某一树种的生长)。第三是趋势问题。即“自从……以来发生了哪些变化?”的问题。可以观察某地区生物多样性或生态系统特征随时间的变化。第四是格局问题。这个问题较为复杂。比如要确定林带对农田生产力的影响。最后就是模型问题。即“如果……,会发生什么?”的问题。例如如果一条新道路加入网络,或一种有毒物质渗漏至当地水源供应的地方时,会发生什么事情。回答这些问题需要有关地理学以及其他的信息。

1.2.3 生态空间数据处理基础

1. 获取生态空间数据的途径

可从以下几种方式获得生态学空间数据:

- 测量:控制点数据、大地参考系、被测量点的坐标数据
- 遥感:各种分辨率的遥感图像

- GPS: 接收点的空间坐标数据
- 统计数据
- 历史资料
- 管理数据
- 实地调查
- 实验数据

2. GIS 对空间地物的抽象

GIS 首先要解决的问题是怎样采用计算机技术来描述和表达复杂的空间地物及其空间位置关系。

GIS 采用高度抽象的方法将空间地物或现象抽象成几种基本类型——点、线、面和复合对象。空间地物间的位置关系采用空间拓扑关系来描述。点数据具有特定位置,用于表达离散分布的空间地物;线数据类型是对线状地物或现象的抽象;面数据表达具有一定空间范围和面积的空间实体,这种数据类型是以空间坐标的闭合链来表示。复合对象用于对点、线、面无法表达的复杂地物的抽象,通过点、线、面的组合进行表达。

空间拓扑关系用于表达空间地物间复杂的位置关系,如铁路和行政区之间的关系,河流作为水源与居民区分布的关系,自来水管设施与控制阀门的关系等等。GIS 将地物的空间关系抽象为点与点之间、线与线之间、面与面之间、点与线之间、点与面之间、线与面之间的各种空间拓扑关系,包括“相邻”、“相离”、“相交”、“包含”、“重合”等关系进行表达。

不同的使用目的,对同一地物的抽象方法也各不相同。如研究全国百万人口大城市的分布时,可将各城市抽象为点,但当对城市的基础设施进行管理时,城市就不能只是一个点状地物了。

3. 初步的数据处理

初步的数据处理主要包括数据格式化、转换、概括。数据的格式化是指不同数据结构的数据间变换,是一种耗时、易错、需要计算量的工作,应尽可能避免;数据转换包括数据格式转化、数据比例尺的变化等。在数据格式的转换方式上,矢量到栅格的转换要比其逆运算快速、简单。数据比例尺的变换涉及数据比例尺缩放、平移、旋转等方面,其中最为重要的是投影变换;制图综合(generalization)包括数据平滑、特征集结等。目前地理信息系统所提供的数据概括功能极弱,与地图综合的要求还有很大差距,需要进一步发展。

4. 数据存储与组织

这是建立地理信息系统数据库的关键步骤,涉及空间数据和属性数据的组织。栅格模型、矢量模型或栅格/矢量混合模型是常用的空间数据组织方法。空间数据结构的选择在一定程度上决定了系统所能执行的数据与分析的功能。在地理数据组织与管理中,最为关键的是如何将空间数据与属性数据融合为一体。目前大多数系统都是将两者分开存储,通过公共项(一般定义为地物标识码)来连接。这种组织方式的缺点是数据的定义与

数据操作相分离,无法有效记录地物在时间域上的变化属性。

5. 空间查询与分析

空间查询是地理信息系统以及许多其他自动化地理数据处理系统应具备的最基本的分析功能;而空间分析是地理信息系统的核心功能,也是地理信息系统与其他计算机系统的根本区别,模型分析是在地理信息系统支持下,分析和解决现实世界中与空间相关的问题,它是地理信息系统应用深化的重要标志。地理信息系统的空间分析可分为三个不同的层次。

1) 空间检索。包括从空间位置检索空间物体及其属性和从属性条件集检索空间物体。“空间索引”是空间检索的关键技术,如何有效地从大型的地理信息系统数据库中检索出所需信息,将影响地理信息的分析能力;另一方面,空间物体的图形表达也是空间检索的重要部分。

2) 空间拓扑叠加分析。空间拓扑叠加实现了输入要素属性的合并(union)以及要素属性在空间上的连接(join)。空间拓扑叠加本质是空间意义上的布尔运算。

3) 空间模型分析。在空间模型分析方面,目前多数研究工作着重于如何将地理信息系统与空间模型分析相结合。其研究可分三类:① 地理信息系统外部的空间模型分析,将地理信息系统当作一个通用的空间数据库,而空间模型分析功能则借助于其他软件;② 地理信息系统内部的空间模型分析,试图利用地理信息系统软件来提供空间分析模块以及发展适用于问题解决模型的宏语言,这种方法一般基于空间分析的复杂性与多样性,易于理解和应用,但由于地理信息系统软件所能提供空间分析功能极为有限,这种紧密结合的空间模型分析方法在实际地理信息系统的设计中较少使用;③ 混合型的空间模型分析,其宗旨在于尽可能地利用地理信息系统所提供的功能,同时也充分发挥地理信息系统使用者的能动性。

6. 图形与交互显示

地理信息系统为用户提供了许多用于地理数据表现的工具,其形式既可以是计算机屏幕显示,也可以是诸如报告、表格、地图等硬拷贝图件,尤其要强调的是地理信息系统的地图输出功能。一个好的地理信息系统应能提供一种良好的、交互式的制图环境,以供地理信息系统的使用者能够设计和制作出高质量的地图。