

基于地理信息系统的数字环境模型研究*

陈晓峰 张增祥 彭旭龙 刘 斌

王长有 金燕虎 赵晓丽

(中国科学院遥感应用研究所 北京 100101)

摘 要 本文提出了以遥感与地理信息系统为技术手段,用有序数值阵列的方法建立数字环境模型的新思路,具体阐述了建立数字环境模型的意义、方法和应用范围。并在建立数字环境模型的基础上,对西藏“一江两河”地区的环境综合状况进行了定量评价。

关键词 地理信息系统,数字环境模型

1 引 言

现代资源与环境的研究,从世界范围和历史发展来看,许多发达国家已从第1阶段的侧重调查、分类和制图,进入到第2阶段的侧重模拟、监测、评价和管理^[1]。环境模拟是指用计算机或图示的方法对一个系统的环境中的各要素的性质、功能、相互作用和它们的总体表现及其随时空的变化(过程)进行模仿。数字环境模型可以以三维的形式充分展示环境状况的分布情况,能够对实际的环境状况进行模拟和仿真。在此基础上,还可以进一步建立预测、规划、调控、决策分析等模型。同时,数字环境模型还是众多现代地理学中数学分析方法如统计分析、线性规划、AHP决策分析、模糊数学、灰色系统、系统动力学等方法实现的基础。遥感与GIS一体化是90年代以来遥感和地理信息系统发展的共同趋势。遥感技术的信息优势与地理信息系统空间分析优势可以相互结合、相互补充。遥感是地理信息系统的一个重要数据源和强有力的更新手段。地理信息系统作为一种空间数据管理、分析的有效技术,可为遥感提供各种有用的辅助信息和分析手段。国内外,利用遥感与地理信息系统技术进行了大量卓有成效的资源环境研究工作,如土地利用、土地覆盖、作物估产、植被监测、水土资源调查、环境监测与评价等。在遥感与地理信息系统基础

上建立的数学模型为量化的空间分析奠定了基础。

2 数字环境模型

早在本世纪50年代中期,美国麻省理工学院摄影测量实验室主任米勒(C. L. Miller)将计算机与摄影测量技术相结合,提出了“数字地面模型”的概念,即Digital Terrain Models,缩写为DTM。DTM是对地面诸特性空间分布的数字描述,它的本质是对二维地理空间的定位和数字表达。有了DTM后,在传统的地形图中,地貌和地物已不仅仅是在纸上用等高线和图例符号来表示。而是以地面点的空间坐标和特征编码为基础的,以数字形式描述的三维立体图。几十年来,数字地面模型在测绘和遥感、农林、水文气象、地学分析,以及地理信息系统等多项领域得到深入的研究和发展^[2]。

DTM反映了叠加在二维地理空间上的一维或多维地面实体的特征。除了地貌(如高程、坡度、坡向)特征以外,DTM还可以包括,土壤、植被、地质、气候等自然资源和环境信息,还可以包括人口分布、工业产值、国民收入等社会经济信息。为了方便起见我们不仿对数字地面模型进行分类。正如人们通常把描述高程特征的DEM叫作数字高程模型(Digital Elevation Model),把反映地表起伏形态特征

* 本文完成过程中承蒙徐冠华院士和田国良、刘纪远研究员的悉心指导和帮助。

收稿日期:1998-01-09;收到修改稿日期:1998-05-27

Model)一样,在这里我们把着重反映资源环境特征的数字地面模型定义为数字环境模型(Digital Environmental Model)。

3 数字环境模型的数据结构

数字环境模型可以采用矢量数据结构,也可以采用栅格数据结构,经过分析和对比,在这里采用栅格结构更为合理。在栅格结构中,无论是怎样进行叠加运算,其最小数据单元都是一个网格,而网格的数量是固定不变的。这样就不会给数据的管理与分析造成困难。另外,栅格数据结构简单,便于代数运算与逻辑操作。当然栅格结构的缺点之一是数据量大,如果将每一个环境因子处理成一个栅格文件,那么有多少种环境因子,就有多少个栅格文件。这样,尽管进行空间分析时容易,但数据量也是相当惊人的。为了克服这个缺点,我们采用有序数值阵列的方法建立数字环境模型。首先将每一个环境因子都转换为栅格形式。在建立栅格数据时,采用统一的地理坐标、统一的转换方法和统一的栅格尺寸,以保证具有同一地理位置的网格可以实现多重专题属性的表达。然后,将每一个栅格文件合并成一个有序的数值阵列,用以建立数字环境模型。

在栅格数据中网格的位置是由行、列号定位的,其本质是利用二维数组结构的方式表示格网的位置。有序数值阵列可表示如下:

$$K = \begin{bmatrix} k_{11} & \cdots & \cdots & \cdots & k_{1m} \\ k_{21} & \cdots & \cdots & \cdots & k_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & k_{ij} & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ k_{n1} & \cdots & \cdots & \cdots & k_{nm} \end{bmatrix}$$

(i = 1, 2, 3, ..., n; j = 1, 2, 3, ..., m) (1)

式中 i 表示网格的序号, j 表示环境因子的个数。网格的序号与栅格文件中的网格相对应。而数值阵列是作为一个属性文件存放的。

采用有序数值阵列的方法,可以对环境的专题内容和分析结果实现三维分析。它不仅可以准确、客观和直观地反映各要素以及综合环境状况,还可以充分体现环境的区域分异特点,包括水平分异和垂直分异。

4 数字环境模型的构造方法

4.1 环境因子的栅格化处理

影响环境变化的因子是多方面的,因子获取的方式也不一样。有矢量数据格式、栅格数据格式以及点数据格式之分。也有地形数据和非地形数据之分。各类专题地图,如土地利用图、土壤侵蚀图等,是将图斑界线通过数字化仪或扫描处理输入的,它是矢量格式。水文数据是站点观测数据,它可能是点数据格式。坡度、坡向数据是从 DEM 派生出来的,它是栅格数据格式。非地形数据中,如人口、社会、经济信息等,是从统计报表中获得的,它们一般是通过行政区划边界的数字化后赋值表示的。由于各类数据的来源和获取的方法不同,它们的数据结构也不一样。但不论是怎样的数据结构,它们一般都可以转为统一的栅格形式。当然有些数据如地形因子,高程、坡度、坡向等本身就是栅格数据,无需转换。点数据可以通过插值的方法转成栅格形式。而矢量数据可以通过一定的算法转换成栅格形式。在各种地理信息系统软件中都具备这样的转换算法。

4.2 有序数值阵列的建立

有序数据阵列的建立过程就是将不同栅格文件合并的过程。在进行合并时,将因子栅格文件进行叠加。在输出文件中除了包括叠加的结果外,还包括各输入栅格文件的属性值(图 1)。

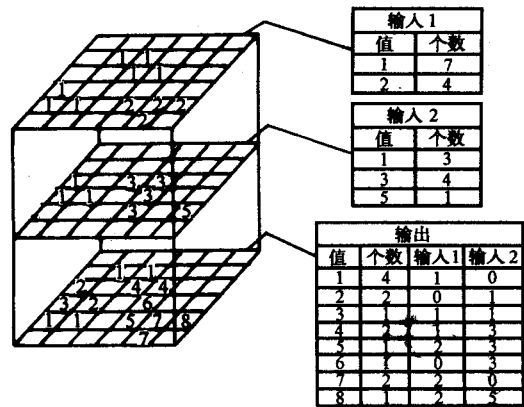


图1 栅格文件属性表
Fig.1 The attribute of grid

在输出栅格文件属性表中,每一个网格包含了若干个因子项。这张属性表就是有序数值阵列表。将影响环境变化的各个因子,都包含在这张表中,以构成数字环境模型。此模型可以用三维立体图的形式

式模拟环境状况。利用有序数值阵列表，可以方便地对环境进行综合评价、动态监测，以及对环境的变化进行预测，对环境的改造提出决策方案。它的最大特点是将复杂的图形运算，变为简单的数组运算。

5 利用数字环境模型实现环境综合评价

环境综合评价模型的建立，立足于环境要素的全面的定量化表达与分析，及其这些要素的相互关系和对于区域环境状况的影响关系的定量表达，通过一系列的运算而形成环境的定量化表达结果。其特点是综合性与空间性的结合，即综合分析多专题环境要素的空间差异性，并且以数量结果来体现其质量特征。

以数字环境模型为基础建立环境评价模型。首先对环境评价指标体系中所确定的环境要素(因子)进行提取。将经标准化处理后的各环境要素进行叠加运算，建立数字环境模型。在此基础上，得到由各环境要素组成的反映同一地点或同一分析单元(栅格)环境状况的多维有序数值阵列表。每一分析单元均具有多重专题属性，其多重属性包括专题属性及其权系数两个方面。通过对这些属性值采用多级加权求和的方法实现环境质量的定量化评价，其结

果就是代表环境特点的环境评价综合指数。

加权求和的环境评价结果用下式计算：

$$E_p = \sum_{i=1}^n k_i k_e \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (2)$$

式中， E_p 为第 p 个分析单元的环境质量指数； $\sum k_i$ 为第 i 个专题指标要素经过标准化处理后的定量表达值； k_e 为反映该专题要素对于环境质量评价重要性的权系数； n 为评价因子个数。

结合“西藏自治区‘一江两河’地区环境动态遥感监测”项目开展，利用数字环境模型，对“一江两河”(即雅鲁藏布江、年楚河、拉萨河)的环境综合状况进行了定量的动态监测与评价，得到了非常满意的结果。在此研究中，选取了包括地形地貌、土地资源、生物资源、水文环境和气象状况等方面的 18 个环境要素，建立数字环境模型。在此基础上，通过对这些环境要素值采用多级加权求和的方法实现环境的定量化评价。由此得出的环境评价结果落实在每一个分析单元，对其进行统计分级来获取研究区域的环境质量状况。环境综合状况分为 10 级。1 级为最差，10 级为最好。图 2 为西藏“一江两河”环境综合评价与动态监测实施流程。图版 I 图 3 中(A)和(B)为西藏“一江两河”地区环境评价综合指数分级结果。

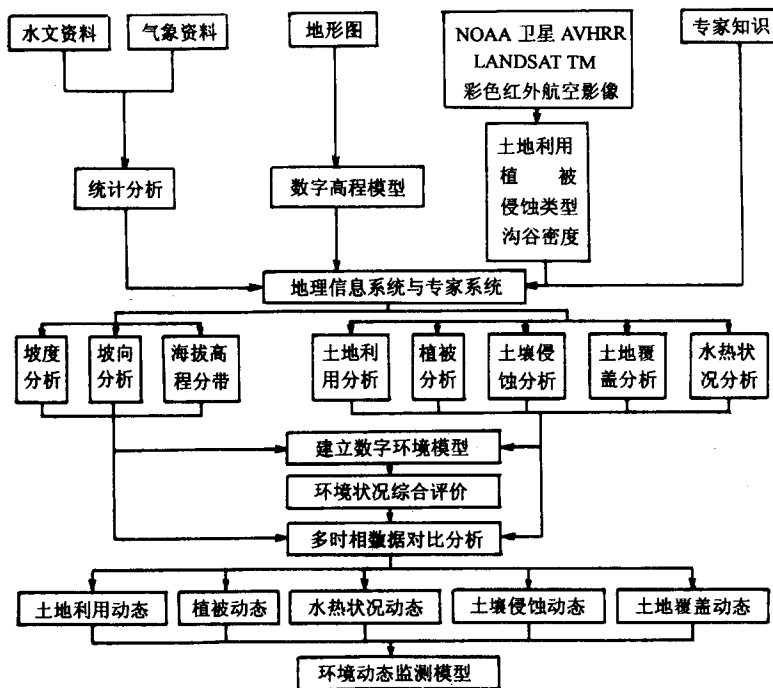


图2 西藏“一江两河”地区环境综合评价与动态监测实施流程

Fig.2 The procedure of environment dynamic monitoring and assessment in central Tibet

6 环境动态监测模型

环境状况动态监测主要表现其综合状况的时间序列特点,主要针对不同专题的数据层面和不同时期的数据层面进行对比,从空间和数量上分析动态变化特征和规律及其未来发展趋势。实际上,动态监测研究是立足于环境现状,对其过去直至现在这一时期内所产生的变化,包括变化的区域分布与数量特征,所开展的分析工作,以便于掌握其演变速率和演变规律特征,为更好地了解其现状和展望其未来提供帮助。

动态监测模型的建立仍然以基本分析单元为对象,以各个专题指标和环境状况为监测内容,以数学比较运算来得出不同时期研究目标的变化量。同环境评价一样,空间叠加分析与统计分析方法用于了解其区域分异规律和动态演化规律特性。

基本分析单元的前后对比运算表示为:

$$\Delta E_p = (E_p^i - E_p^{i-j}) / (t_i - t_j) \quad (p = 1, 2, \dots; t_i = 1, 2, \dots; t_j < t_i) \quad (3)$$

式中, ΔE_p 为第 p 个分析单元在 $t_i - t_j$ 时段内单位时间的变化量; E_p^i 为该单元在第 t_i 时刻的环境状况; E_p^{i-j} 为此时以前 t_j 时刻的环境评价结果。

西藏自治区“一江两河”地区 1995 年和 1990 年两期生态环境综合指数比较结果如图版 I 图 3(C) 所示。以基本分析单元为对象的生态环境综合指数动态数值产生后,叠加以乡为单位的行政属性,并通过每一个乡级区域内所有基本分析单元的加权求和产生每一个乡的生态环境综合指数动态变化结果。结果表明,以雅鲁藏布江、年楚河、拉萨河沿线各乡的变化最明显,并且以生态环境综合指数的升高为主要趋势,同该地区集中了大量的以生物工程措施为主的综合开发活动的实际情况一致。

7 环境预测模型

在实现空间三维模拟时,环境评价结果所代表的环境现状被视为存在于三维空间的一个实体,可以是不同时期的多种状况结果。动态监测所实现的是这个实体在四维时空的演变过程和结果。预测研究是对于这一多维空间的研究目标的延续性分析工作,即在综合分析、动态监测基础上,以现有状况为出发点、以演变速率和演变规律为方向,展望其未来某一时刻或某一时期内所可能出现的状况,有助于确定所要采取的措施和采取措施的提前量,引

导其向所期望的方向发展,避免产生不必要的损失。

环境预测模型以环境评价结果作为开展预测的基础,以动态监测所掌握的演变规律及其主要影响要素为分析依据,针对不同的目的和要求,用以计算今后某时刻的环境状况。用下式表示:

$$E_p^i = E_p^i + \Delta E_p \cdot t \quad (4)$$

式中, E_p^i 为 i 时刻后的某一时刻 t 时的环境状况; E_p^i 为预测初始时刻 i 时的环境本底状况。实际上表现的是研究目标在一定时间段内,其演变速率和持续时间的乘积。

环境状况的预测也可以针对某些动态变化指标的具体情况,调整环境评价模型中的相应指标,来预先计算今后可能的环境状况结果。如下式:

$$E_p^i = \sum_{e=1}^n k_p^i k_e \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (5)$$

此式中,是通过全部分析影响区域环境的 n 个要素,根据某一要素或某些要素的目前状况和近期演变规律与速率,有目的的调整这些要素的表现指数,用以反映将来某一时刻该要素的可能状况,并实际参与环境综合评价,以便得到将来这一时刻的环境综合状况。

这两种环境状况预测模型的研究目标一致,但出发点不同。前者主要考虑环境状况自身的演变特征,是一种多要素综合反映的结果;后者则针对影响环境要素的主要指标要素,从某一方面或某些方面具体反映环境状况的实际变化特点,具有更强的针对性和目的性,也是更便于实际操作的一种方法。

8 结 语

采用有序数值阵列的方法建立数字环境模型具有以下优点:

(1) 由于属性文件实际上就是一个二维的关系表。所以可以很方便地实现各环境因子之间的算术运算,而不涉及复杂的图形操作。

(2) 栅格文件和属性文件分开存放,可以有效地节约存贮空间。无论怎样增加环境因子的个数,栅格文件是唯一的,而且网格数是不变的。只是二维表的列数随着环境因子的多少而增加。

(3) 在图形显示时,可以根据需要显示不同的属性值,以便反映不同的环境因子状况。

(4) 利用关系数据库的管理,可以方便地与其

它类型的关系数据库数据进行关联。

(5) 由于每一个网格都具有多种属性值,所以可以定量地对整个研究区进行环境分析。

参 考 文 献

- 1 曾志远, 潘贤章. 利用遥感与地理信息系统进行流域环境模拟探讨. 遥感新进展与发展战略. 北京: 中国科学技术出版社, 1996.
- 2 柯正谊等. 数字地面模型. 北京: 中国科学技术出版社, 1993.

作 者 简 介

陈晓峰, 男, 1958年2月生。1982年7月毕业于中国人民解放军第二炮兵工程学院自动控制系计算机专业。1991年10月至1994年2月,在奥地利格拉茨工业大学进修。1997年8月在中国科学院遥感应用研究所获理学博士学位。现主要从事地理信息系统和遥感方面的应用研究,已发表论文10余篇。

Digital Environment Model Study Based on GIS

Chen Xiaofeng Zhang Zengxiang Peng Xulong Liu Bin
Wang Changyou Jin Yanhu Zhao Xiaoli

(*Institute Remote Sensing Application, CAS*)

Abstract This paper shows a new idea of establishing the digital environment model using remote sensing and GIS techniques. We used order numerical array for building the digital environment model, and quantitatively assessed the ecological environment situation of central Tibet. It focuses on model building and method realization. First, an idea of digital environment mode has been suggested. Then, how to use this model to establish environmental monitoring and environmental quality assessment has been fourth discussed.

Key words GIS, Digital environment Model