

文章编号: 1007-6301 (2001) 02-0104-07

土地利用变化研究中的 GIS 空间分析方法及其应用

朱会义, 何书金, 张 明

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 土地利用变化研究尤其是空间变化研究, 离不开GIS的空间分析方法。该方法的数据基础主要是矢量格式的土地利用图件和遥感解译制图成果; 模型基础包括GIS的时空数据模型、属性数据模型和提取土地利用变化特征的原理模型; 而数据处理过程则涉及GIS系统的数据转换功能、编辑功能、空间分析功能、数据库操作功能、空间统计分析功能以及图形显示功能等。本文结合北京市土地利用变化的实例分析, 从上述三方面详细阐述了GIS的空间分析方法及其在土地利用变化研究中的应用。

关 键 词: 土地利用变化; GIS 空间分析方法; 应用

中图分类号: F301.24 **文献标识码:** A

土地利用变化正加速改变着全球土地覆被状况。根据联合国粮农组织 (FAO) 1995 年的测算, 1981~1990 年间, 全球森林覆盖面积平均每年减少 $1\,550 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 年平均变化率达到 0.8% ^[1]。而全球耕地面积在过去 300 年中增长了约 $1\,200 \times 10^4 \text{ km}^2$, 目前已达到 $1\,400 \sim 1\,500 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[2]。土地覆被状况的改变不仅影响到陆地生态系统的碳循环, 进一步影响全球气候变化, 同时还影响到土壤、植被、水资源以及生物多样性等自然生产力因素, 从而影响社会经济的可持续发展。土地利用变化包括时间变化、空间变化和质量变化等三个方面。其中空间变化反映土地利用变化的空间类型、变化类型的空间分布以及区域差异, 是土地管理和规划关注的焦点问题。而解决这一问题的关键是如何获取土地利用空间变化信息以及如何对获取的信息进行科学的分析处理。目前获取土地利用空间变化信息的途径主要有利用历史图件、实地调查如土地详查和遥感解译制图等; 变化信息的处理则要应用GIS的空间分析功能。

利用GIS的空间分析方法研究区域土地利用变化不乏先例。Iverson (1988) 利用GIS对美国伊里诺斯州土地利用现状和此前 160 年的土地利用进行比较, 分析该区土地利用的变化类型^[3]。Boerner 等 (1996) 对俄罗斯中部地区 46 年间土地利用/土地覆被变化的研究^[4]、Skinner (1995) 对流域林地空间变化的研究^[5]以及刘盛和对北京市城市土地利用变化的研究^[6]等都应用了GIS的空间分析方法。蔡博文还把地理信息系统的空间分析功能和Markov 随机过程分析方法相结合, 分析台湾云林县沿海地区土地利用变化状况^[7]。但这些

收稿日期: 2001-03; 修订日期: 2001-05

基金项目: 国家自然科学基金重点基金资助项目 (49831020)

作者简介: 朱会义 (1966-), 男, 江苏响水人, 在职博士, 副研究员。主要从事土地利用研究, 着重研究相关的遥感和GIS技术与方法及其应用。E-mail: zhuhy@lreis.ac.cn

研究都把 GIS 的空间分析方法作为后台技术支持, 没有对该方法进行全面的阐述, 而这正是本文重点要说明的问题。

1 GIS 空间分析方法的数据基础

GIS 的空间分析功能, 不仅可以分析矢量图形, 也可对栅格图象进行分析。但在土地利用变化研究中, 通常是利用空间叠置分析功能, 对不同时段的土地利用矢量图件进行空间比较, 揭示土地利用变化的空间特点。所以其数据基础主要是矢量图形数据。但矢量数据根本上又是来源于对栅格图象的矢量化和对遥感图象的分类识别。

1.1 土地利用图件的矢量化

土地利用的历史图件和现状图件是土地利用空间变化研究的信息来源之一。这些图件有的以矢量格式存贮于计算机中, 大部分以传统的方式绘制在纸上, 需要对其进行矢量化也即数字化才能为 GIS 所分析利用。传统的矢量化过程一般采用手扶跟踪数字化的方法在数字化板上进行, 该方法费事、费力, 精度也不高, 现在已不常用。现用得较多的方法是把图件扫描后, 输入计算机中, 利用 GIS 的矢量化功能, 将线划图形的连续模拟量转换成离散的数字量, 获得土地利用的图形数据。因 GIS 软件的不同, 矢量化功能存在较大的差异, 其中以 MGE (Modular GIS Environment) 的 GEOVEC 功能最为完善。另外, 还有一些非 GIS 软件如 Corel Draw 等也可完成扫描图件矢量化的工作。

1.2 遥感土地利用数据的获取

遥感数据是土地利用空间变化的另一类信息来源。遥感数据由于其不同的技术来源, 如航空遥感、航天遥感 (SPOT 卫星, 陆地卫星, 气象卫星等), 可获得不同分辨率的影像数据, 从而可制成不同比例尺的土地利用图。利用遥感数据的关键问题是遥感图象的解译。解译方法一般有目视解译和自动分类两种, 目前遥感图象分类识别一般基于光学和计算机图象处理技术通过人工目视解译制图完成, 而遥感图象自动识别方法尚不完善, 达不到实用化的要求, 需要进一步的探讨^[8]。由于遥感数据难以大比例尺、高精度地表达全球土地利用变化状况, 它通常被用于区域案例研究或探询土地利用变化的热点地区等^[9]。

2 GIS 空间分析方法的模型基础

2.1 时空数据模型

地理信息系统 (GIS) 中的地理要素包含几何拓扑信息 (Geometry-topology), 属性信息 (Attribute), 地理要素生存期 (Time), 地理要素人为标识 (user id) 和地理要素操作方法 (Methods)。GIS 中的地理要素特征模式可用 5 元数组表述为^[10]:

$$\text{Feature} = \{\text{id, Geometry-topology, Attribute, Time, Methods}\}$$

根据 GIS 中空间数据的拓扑关系, 所有地理要素的空间信息可分解为点、弧段和多边形等基础空间要素。土地利用变化分析主要涉及多边形要素的处理。

2.2 GIS 的属性数据模型

数据模型是描述数据内容和数据之间关系的工具, 是数据库设计的核心问题之一。目前在数据库领域, 常用的数据模型有层次模型、网络模型、关系模型和面向对象模型。不

同的 GIS 软件, 采用的数据模型不尽相同, 因而其数据组织形式也不同。在 ARC/INFO 中, 采用 Coverage 数据组织形式, 把拓扑和几何特性存贮在特征属性表中。不同的空间要素, 其特征属性表的内容各不相同。对于多边形要素, ARC/INFO 以存贮在 ARC 文件中的弧段和存贮在 LAB 文件中的标识点来记录和存贮多边形的坐标信息, 其特征属性表含有 4 列标准属性数据 (ITEMS): 以 Coverage 坐标单元表示的多边形面积 (AREA)、多边形周长 (PERIMETER)、每个多边形要素的内部特征号 (COVER#) 和用户定义的标识 (COVER-ID) (表 1)。在利用 UNION、INTERSECT 或 IDENTITY 命令将同一地区、同一比例尺的两组或两组以上的多边形数据进行拓扑叠置分析后, ARC/INFO 根据两组多边形边界的交点建立具有多重属性的多边形, 其特征属性表的内容也作相应的改变 (表 2)。

表 1 多边形 COVERAGE 属性表
Tab.1 Attribute table of polygon in ARC/INFO

记录号	面积	周长	内部特征号	用户标志码
RECORD	AREA	PERIMETER	COVER#	COVER-ID
1
2
...
m

表 2 叠置分析生成的 COVERAGE 的属性表
Tab.2 Attribute table of polygon after overlay in ARC/INFO

记录号	面积	周长	内部特征号	用户标志码	用户标志码	用户标志码	...
RECORD	AREA	PERIMETER	COVER#	COVER-ID	COVER1-ID	COVER2-ID	
1
2
...
m

2.3 原理模型

在上述属性数据模型的基础上, 对叠置分析生成的 COVERAGE 的属性表进行进一步的处理分析, 即可获得土地利用变化的数据。属性表中用户标志码 COVER1-ID 是第一期土地利用类型标识, 用户标志码 COVER2-ID 是第二期土地利用类型标识。比较各土地单元两期的利用类型, 将出现两种结果: ¹ COVER1-ID 等于 COVER2-ID, 表示研究期内该单元的土地利用方式没有发生变化, 如耕地仍为耕地; ⁰ COVER1-ID 不等于 COVER2-ID, 则说明该土地单元的利用方式发生了变化, 其变化形式为 COVER1-ID 类型转变为 COVER2-ID 类型。上述变化类型可以在属性表中清楚地表示出来。基本原理是在属性表中生成表征变化类型的字段, 然后对每一个土地单元的该字段进行赋值。变化类型值的设定可依据不同的需要而选取。如把未发生变化的类型赋值为 111, 把发生变化的类型赋值为 COVER1-ID* 10ⁿ+ COVER2-ID, 突出土地利用变化的单元, 反映土地利用的变化过程。当然, 也可把未发生变化的类型赋值为如 9* 10ⁿ+ COVER1-ID 来表现其土地利用类型。表 3 是上述原理的应用示例。表中以用户标志码 COVER-ID 来表示土地利用变化类型, 1、2、3 分别表示耕地、林地、草地等土地利用类型。可以看出, 土地利用变化状况在表中有很好

的反映。因为该处理过程在多边形图斑的属性表中完成，所以在 GIS 环境下可以把土地利用变化的空间状况以图形方式显示出来。

表 3 土地利用变化数据的处理
Tab.3 Data analysis method of land use change

面积	内部特征号	用户标志码	用户标志码	用户标志码	...
AREA	COVER#	COVER-ID	COVER1-ID	COVER2-ID	
8 409. 17	2	32	3	2	...
1 900. 73	3	23	2	3	...
...
7 782. 82	37 564	111	3	3	...

对上述土地利用变化数据的处理结果，利用 ARC/INFO 等 GIS 软件的 FREQUENCY 功能，可以统计出土地利用各类型的面积以及各种土地利用变化类型的面积，以表 4 的形式生成统计结果。FREQUENCY 功能不仅对面积进行统计，同时还给出了各类型土地单元的个数。面积的统计结果可用以分析土地利用的数量变化和各类土地利用变化的流向；利用土地单元的个数可以了解土地利用类型或土地利用变化类型在空间上出现的频度。

对数据表的形式进行转换，表 4 的统计结果可转化成不同土地利用类型在研究期内的转移矩阵（表 5）。利用该转移矩阵可以运用马尔柯夫随机过程分析方法预测土地利用变化的趋势。

表 4 土地利用变化数据面积统计表

Tab.4 The result table of frequency
in ARC/INFO

用户标志码	面积	土地单元数	...
COVER-ID	AREA	COUNT	
12	635908184. 2656	5408	...
13	161638857. 7188	1456	...
...
111	8950401576. 1875	25682	...

表 5 不同土地利用类型面积在研究
时段内的转移矩阵

Tab. 5 Transition matrix of land use change

研究期初土地 利用类型	研究期末土地利用类型			
	类型 1	类型 2	...	类型 n
类型 1	A ₁₁	A ₁₂	...	A _{1n}
类型 2	A ₂₁	A ₂₂	...	A _{2n}
...
类型 n	A _{n1}	A _{n2}	...	A _{nn}

总之，利用上述土地利用变化的时空数据，就可进一步分析区域土地利用变化的时空特征，如分析土地利用变化的幅度、变化的速度、变化的主要类型和空间差异以及土地利用变化的区域方向，甚至利用该转移矩阵可以运用马尔柯夫随机过程分析方法预测土地利用变化的趋势。

3 GIS 空间分析方法的信息处理过程

GIS 空间分析方法的信息处理过程，涉及 GIS 系统的数据转换功能、图形数据编辑功能、空间分析功能、数据库操作功能、空间统计分析功能以及图形主题显示功能等（图 1）。只有在熟悉这些基本功能的基础上，才能对土地利用时空变化状况进行有效的分析，获得理想的结果。

4 应用示例——以北京市为例

4.1 数据来源

采用参与国家八五、九五土地资源遥感调查工作的部分成果。上述成果的第一期数据来自 1984~1985 年的卫星影像,第二期数据来自 1994~1995 年的卫星影像,时段前后相差 10 年。需要说明的是两期的数据比例尺不同,第一期数据的比例尺为 1:25 万,第二期数据的比例尺为 1:10 万,制图综合的工作量过大,具体工作中对第二期数据进行了一定的简化处理,剔除 25 万图中难以反映的类型图斑,使之与第一期的数据匹配。两期遥感调查的结果,除了在比例尺上不同之外,精度也存在差异,第一期数据中包含一小部分不明地类,分析中作土地利用未发生变化来处理。此外,各土地类型的解译精度也有一定的差异,主要表现在耕地、城乡居住建设用地、未利用土地的精度较高,林地、草地,尤其灌木林地、疏林地与草地有时难以区分,所以精度较低。

4.2 类型划分

考虑到土地资源的经营特点、利用方式、覆盖特征以及动态监测的需要,北京市土地利用分为 6 大一级类型,一级类型又分出不同的二级类型,如表 6。

表 6 北京市土地利用分类
Tab. 6 Land use classification in Beijing

一级地类	二级地类
1. 耕地	山地水田、丘陵水田、平原水田、山地旱地、丘陵旱地、平原旱地
2. 林地	有林地、灌木林地、疏林地、其它林地
3. 草地	高覆盖草地、中覆盖草地、低覆盖草地
4. 水域	河渠、湖泊、水库、坑塘、冰川和永久积雪地、海涂、滩地
5. 居住建设用地	城镇用地、农村居民点用地、工交建设用地
6. 未利用土地	沙地、盐碱地、沼泽地、裸土地、裸岩石砾地、其它

4.3 结果分析

以下是利用 GIS 空间分析法获得的北京市土地利用数量变化的结果(表 7)。结果表明,在 1985~1995 这 10 年间,北京市耕地面积减少 115 483.66 hm²,年均变化率达到 1.93%;林地面积增加 395 814.75 hm²,年均变化率 9.76%;草地面积减少 388 461.02 hm²,年均变化率 7.64%;水域面积扩大 32 601.33 hm²,变化率为 13.59%;城乡居住建设用地扩大 32 601.33 hm²,未利用地面积减少 5 757.48 hm²。说明 10 年中,由于城市化的发展、农业结果调整以及生态环境建设等诸多原因,北京市土地利用方式发生了巨大变化。

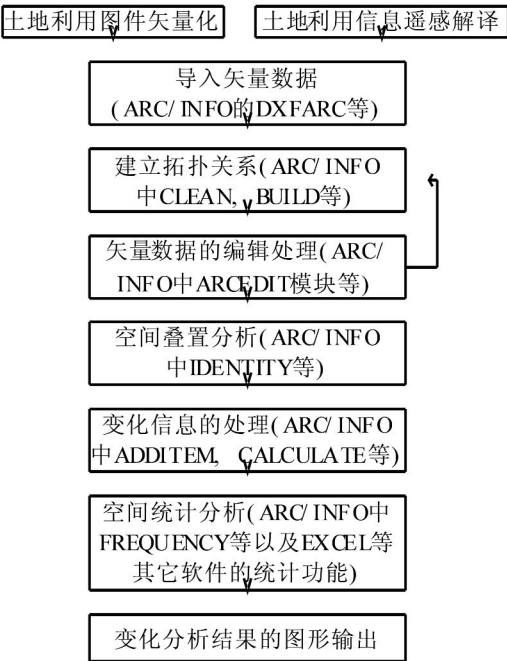


图1 空间分析方法的信息处理过程
Fig. 1 The data handling process of spatial analysis

表 7 北京市 1985~1995 土地利用数量变化 (单位: hm^2)Tab. 7 The area of classified land- use change in Beijing among 1985~1995 (unit: hm^2)

土地利用类型	1985 年面积	1995 年面积	土地利用变化	年变化率/%
耕地	597 579. 04	482 095. 38	- 115 483. 66	- 1. 93
林地	405 657. 32	801 472. 07	395 814. 75	9. 76
草地	508 436. 06	119 975. 05	- 388 461. 02	- 7. 64
水域	23 988. 51	56 589. 84	32 601. 33	13. 59
居住建设用地	93 585. 17	174 871. 25	32 601. 33	8. 69
未利用地	9 318. 70	3 561. 22	- 5 757. 48	- 6. 18

表 8 为北京市土地利用不同变化类型的空间统计结果。该结果显示, 1985~1995 年间, 北京市占总面积 55% 的土地单元没有发生土地利用方式的变化, 而其余占总面积 45% 的土地单元则发生了不同类型的土地利用变化。其中, 耕地转化为城乡居住建设用地、林地以及林地和草地的相互转化是该地区土地利用变化的主要类型。此外从表 8 中可以看出各土地利用类型间的相互转化。

表 8 北京市土地利用分类变化面积 (单位: hm^2)Tab. 8 The major sorts of land- use change in Beijing (unit: hm^2)

变化类型	变化面积	占总面积的 百分比/%	变化类型	变化面积	占总面积的 百分比/%
土地利用未发生变化	895 041. 60	55	林地转化为耕地	27 257. 73	2
草地转化为林地	392 181. 42	24	居住建设用地转化为耕地	22 026. 48	1
耕地转化为居住建设用地	94 338. 54	6	耕地转化为水域	21 377. 55	1
耕地转化为林地	63 591. 08	4	耕地转化为草地	16 163. 69	1
林地转化为草地	30 310. 70	2	其它变化类型	47 737. 83	3
草地转化为耕地	28 538. 17	2			

5 结语

由于土地利用变化具有明显的时间、空间特性, 所以对土地利用变化的研究离不开 GIS 的空间分析方法。利用 GIS 技术研究土地利用变化, 具有明显的优势。首先, 它可以把不同来源的土地利用信息集成到统一的区域土地利用信息系统中, 如土地利用的历史图件、土地利用的遥感影像资料、统计资料以及地形、土壤等土地属性数据, 都可以纳入到该信息系统中。其次, 在系统环境下更便于对土地利用变化的时间特性进行统计比较, 获取土地利用变化的数量信息。第三, 充分利用 GIS 的空间分析功能获得土地利用变化的空间信息, 了解变化的主要类型和变化类型的空间分布状况, 研究土地利用变化的空间动态。第四, 利用 GIS 的制图功能, 把 GIS 空间分析结果以图形的方式显示出来, 或者输出到打印机上。

但是, 利用 GIS 的空间分析方法研究区域土地利用变化, 也还存在模型功能的不足, 如缺乏分析土地利用变化未来趋势的模型等。GIS 系统与其它用户模型的集成是当前 GIS 发展的一个重要方向, 同样也是土地利用变化研究需要努力的一个方向。

参考文献:

- [1] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Forest resource assessment 1990. Global synthesis. [R]. FAO Forestry Paper 124. Rome:FAO, 1995.
- [2] Turner II B L, Moss R H, Skole D L. Relating land use and global land-cover change——A proposal for an IGBP-HDP core project[R]. IGBP Report No. 24 and HDP Report No. 5. Stockholm: IGBP, 1993.
- [3] Iverson L R. Land-use changes in Illinois, USA- The influence of landscape attributes on current and historic land use[J]. Landscape Ecology, 1988, 2(1): 45-61.
- [4] Boerner R E et al. Markov models of inertia and dynamism on two contiguous Ohio landscapes[J]. Geographical Analysis, 1996, 28(1): 55-66.
- [5] Skinner C N. Change in spatial characteristics of forest openings in the Klamath Mountains of northwest California, USA[J]. Landscape Ecology, 1995, 10(4): 219-228.
- [6] 刘盛和, 吴传钧, 沈洪泉. 基于 GIS 的北京城市土地利用扩展模式[J]. 地理学报, 2000, 55(4): 407-416.
- [7] 蔡博文, 张长义, 丁志坚. 地理信息系统与空间分析功能——云林沿海地区土地利用变迁分析[J]. 台湾大学地理学系地理学报, 1997(23): 1-12.
- [8] 郑兴年, 胡宝新, 崔伟宏. 大城市边缘区土地利用动态遥感试验研究——以北京市朝阳区为例[J]. 地理学报, 1995, 15(1): 47-53.
- [9] Lambin E F, Baulies X, Bockstael N et al. Land-use and land-cover change (LUCC) implementation strategy[R]. IGBP Report No. 48 and HDP Report No. 10. Stockholm: IGBP, 1999.
- [10] 冷允法, 谢高地, 齐文虎 等. 基于 GIS 的土地利用变更与时空动态分析[J]. 地理研究, 1999, 18(增刊): 136-141.

GIS Spatial Analysis and Its Application in the Research of Land Use Change

ZHU Hui-yi, HE Shu-jin, ZHANG Ming

(Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101 China)

Abstract: GIS Spatial Analysis is widely adopted in the research of land use change, especially in the spatial research of land use change. The data analyzed by GIS is mainly from original land use map and remote sensing. The model foundation includes spatio-temporal data model, attribute data model and principal model for acquiring land use characteristics. The data dealing process involves many functions of GIS, such as data conversion, edit function, spatial analysis, database operating, and statistic function. Taking Beijing area as an example, this paper illustrates GIS spatial analysis and its application in the research of land use change. There are some remarkable advantages using GIS in the land use change. It can integrate all land use information in one system, such as original land use maps, images, statistical data, and land attribute data. Furthermore, the spatial data can be analyzed in the system environment in order to produce information of regional land use change. At last, the spatial change, distribution can be printed with the mapping function of GIS. As the shortage of many analysis functions, the integration of GIS with user models is the main developing direction.

Key words: Land Use Change; GIS Spatial Analysis; Application