

# 基于 GIS 多源栅格数据的模糊综合评价模型

李京 蒋卫国 陈云浩 官阿都 武建军

<sup>1)</sup>(北京师范大学资源学院, 北京 100875) <sup>2)</sup>(北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验, 北京 100875)

**摘要** 栅格是地球信息科学中大量使用的信息单元,其研究结果具有真正空间性的意义,而且可方便建立各种复杂数学模型。模糊综合评价方法是目前多指标综合评价实践中应用最广的方法之一。为了将模糊综合评价方法应用于空间栅格数据中,首先分析了模糊综合评价方法的原理及方法,然后以多源栅格数据为基础,以 GIS 空间叠置分析功能为手段,建立模糊综合评价 GIS 模型,并成功应用于实例中。实验结果表明,该模型能够较好地解决多源栅格数据的模糊综合评价问题。

**关键词** GIS 多源栅格数据 模糊综合评价

中图分类号: P208 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2007)08-1446-05

## A Fuzzy Comprehensive Assessment Model for Multi-raster Data Based on GIS

LI Jing, JIANG Wei-guo, CHEN Yun-hao, GONG A-du, WU Jian-jun

<sup>1)</sup>(College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875)

<sup>2)</sup>(State Key Laboratory of Earth Surface Processes Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875)

**Abstract** Raster is used widely as a basic object in the geography information science, because products produced by raster have real spatial size and many math models are more easily built based on raster. Fuzzy comprehensive assessment is applied widely in the field of multi-factors evaluation application. Sometimes spatial data and spatial concept are fuzzy in geography information science, so fuzzy spatial analysis has gained more and more attention from researchers during the recent years, but fuzzy comprehensive assessment method is used rarely in multi-raster data. The theory of fuzzy comprehensive assessment is described in detail firstly. Then the GIS model about fuzzy comprehensive assessment is built based on multi-raster data and spatial overlay analysis. The GIS model has been used in the urban air quality assessment successfully. The result of the instance shows that this model can well conduct fuzzy comprehensive assessment based multi-raster data.

**Keywords** geography information system, multi-raster data, fuzzy comprehensive assessment

## 1 引言

空间信息是人类生产活动中的基础信息,它反映了地球复杂巨大系统和地球上各种自然和社会现象的非线性特征。GIS 作为一个空间信息决策支持管理系统,在地理、国土、农林、水利、城建、交通、环境、测绘等领域得到广泛应用。GIS 具有强大的空

间分析功能,能够快速处理各种空间信息。GIS 的空间叠置分析是空间分析的一个重要研究内容,它可将同一区域多要素、多时相的数据进行叠置,通过对比及综合分析,发现某一地理对象的相互联系、差异以及动态变化等特征,也可揭示某些自然现象的空间分布规律。图像栅格形式是空间信息主要表示形式之一,遥感信息图像都是栅格形式。栅格具有比较精确的空间位置,研究结果都具有真正空间性

基金项目:国家自然科学基金项目(40671122,40671130);国土资源部土地利用重点实验室开放基金项目(07-04)

收稿日期:2007-03-28;改回日期:2007-04-29

第一作者简介:李京(1956 - ),男,所长,教授,博士生导师。研究方向为空间技术在灾害及资源领域的应用。已发表论文 40 余篇,著作 6 部。E-mail: lijing@ires.cn

的意义。目前大多数 GIS 平台提供栅格分析模块,以栅格作为研究单元,可方便建立各种复杂数学模型,再对各种复杂自然社会现象及系统过程进行模拟。由于空间信息具有多重性、复杂性、不精确性、不确定性等特点,用它来表达各种复杂的地理现象就存在着模糊性<sup>[1]</sup>,因此近年来在模糊空间信息处理、空间信息模糊叠置、GIS 数据质量模糊评价、GIS 中属性不确定性分析等领域受到相关领域研究者的重视<sup>[2-8]</sup>。

目前虽然有许多研究者利用多源栅格数据来综合分析和评价自然灾害、生态环境等领域各种现象<sup>[9-11]</sup>,但是没有考虑栅格属性数据的模糊隶属问题,虽然有许多学者在这些领域利用模糊综合评价方法<sup>[12-14]</sup>,但是他们评价的单元数量是非常有限的,从几个到几十个不等。目前将海量栅格单元、GIS 技术以及模糊综合评价方法结合起来应用到某个领域的研究很少。本文通过分析模糊综合评价的有关原理,利用多源栅格数据,建立了 GIS 模糊综合评价模型,并成功应用到实际中。

## 2 模糊综合评价方法

模糊综合评价模型是以模糊变换理论为基础,以模糊推理为主的定性和定量相结合、精确与非精确相统一的综合分析方法<sup>[15]</sup>。模糊综合评价方法是目前多指标综合评价实践中应用最广的方法之一,已经在环境、自然灾害、土地资源、地质等众多领域得到大量应用。模糊综合评价的技术流程如图 1 所示,包括原始指标集、评语等级集、隶属函数、隶属关系矩阵、权重向量、加权合成、结果向量处理 7 个部分。

设评价指标数为  $i$ ,原始指标集为

$$U = \{u_1, u_2, \dots, u_i\}$$

设评语等级数为  $j$ ,评语等级集为

$$V = \{v_1, v_2, \dots, v_j\}$$

隶属函数的确定方法有很多种,如模糊统计法、多相模糊统计法、分级函数法、比较法、三分法、增量法等等,分级函数法又分为三角形函数、梯形函数等。要根据指标的数据情况、单位情况、评语等级等方面选择合适的单一方法或者组方法。本文以三角形分级函数法为例讨论指标的隶属度。实际上每一个指标都有一个隶属函数集  $F_i$ ,而且每一级都有一个子隶属函数  $f_j$ :

$$F_i = \{f_1, f_2, \dots, f_j\}$$

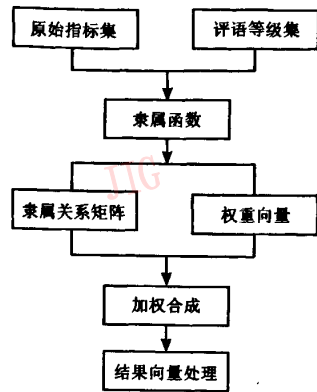


图 1 模糊综合评价的技术流程

Fig. 1 Flow chart of fuzzy comprehensive assessment

根据隶属函数,计算出  $U$  中的各指标相对评语集  $V$  各等级的隶属度,构成  $i \times j$  阶隶属关系矩阵

$$R = (r_{ij})_{i \times j}$$

根据  $U$  中各指标的重要性,确定权重向量  $\bar{A}$ ,常见的确定权重向量的方法有:主管经验判断法、专家调查法或专家征询法、评价专家小组集体讨论投票表决法、层次分析法。为了保证确定的权向量的客观性、公正性和科学性,常常可将上述几种方法结合起来使用。

$$\bar{A} = [a_1, a_2, \dots, a_i]$$

将模糊权重向量  $\bar{A}$  与模糊关系矩阵  $R$  进行某种合成运算,得到模糊综合评价结果向量

$$\bar{B} = \bar{A} \circ R = [b_1, b_2, \dots, b_j]$$

模糊综合评价结果向量  $\bar{B}$  是多维向量,它包含了丰富的信息,直接对它比较排序很不方便,这就需要对模糊综合评价结果向量  $\bar{B}$  做进一步处理,常用处理方法如下:最大隶属度法、加权平均法、加权求和法等。

模糊综合评价中最重要的部分是模糊关系矩阵建立、合成运算及评价结果向量处理。

## 3 GIS 模糊综合评价模型

根据上述模糊综合评价原理,并结合 GIS 的栅格叠置分析,建立了基于多源栅格数据的 GIS 模糊综合评价模型(图 2)。

设有  $i$  个栅格图像,它们构成的评价指标集为  $\{grid_1, grid_2, \dots, grid_i\}$ ,任何一个栅格图像按照其隶属函数将生成  $j$  个栅格图像,这些图像的属性数

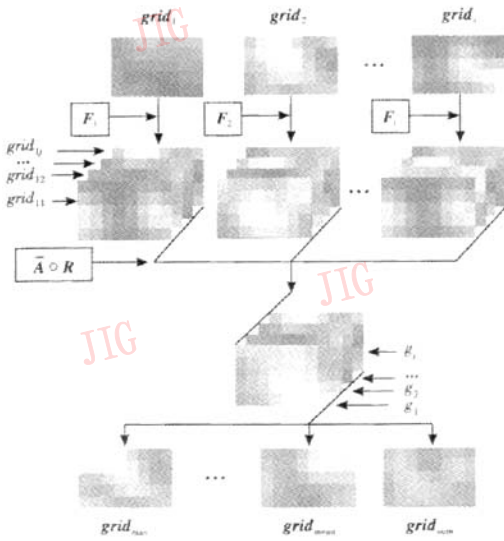


图 2 基于多源栅格数据的 GIS 模糊综合评价模型

Fig. 2 Fuzzy comprehensive assessment model for multi-raster data

据就是隶属度,如  $grid_1$  将生成  $grid_{11}$ 、 $grid_{12}$ 、 $\dots$ 、 $grid_{1j}$ ,这样再将所有隶属度栅格图像按照一定规则组合在一起就构成栅格图像矩阵,即模糊关系矩阵

$$R = \begin{bmatrix} grid_{11} & grid_{21} & \dots & grid_{n1} \\ grid_{12} & grid_{22} & \dots & grid_{n2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ grid_{1j} & grid_{2j} & \dots & grid_{nj} \end{bmatrix}$$

由于 GIS 平台中的栅格叠置分析功能不能直接进行数组矩阵与图像矩阵之间的合成运算,需要将  $\bar{A} \circ R$  展开,然后按照展开式进行栅格叠置分析,得到  $j$  个模糊综合评价结果向量栅格图像:

$$\bar{A} \circ R = \begin{bmatrix} a_1 \circ grid_{11} + a_2 \circ grid_{12} + \dots + a_j \circ grid_{1j} \\ a_1 \circ grid_{21} + a_2 \circ grid_{22} + \dots + a_j \circ grid_{2j} \\ \dots \\ a_1 \circ grid_{n1} + a_2 \circ grid_{n2} + \dots + a_j \circ grid_{nj} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_1 \\ g_2 \\ \dots \\ g_j \end{bmatrix}$$

然后根据最大隶属度法、加权平均法、加权求和法等方法,对模糊综合评价结果向量栅格图像  $\{g_1, g_2, \dots, g_j\}$  进行叠置分析,就得到所需要的栅格图像,最后可以对栅格图像进行制图输出。

这个模型可以在 ArcGIS、ArcView、ERDAS、PCI 等地理信息系统及遥感图像处理软件平台中实现,技术流程清晰明了,结构简单,既容易构建又容易修改,而且可快速得到结果,不需要进行复杂的编程。

### 4 应用实例

在基于 GIS 栅格数据的城市空气质量评价中,往往选择悬浮物质、二氧化硫、一氧化碳、二氧化氮等指标。这些指标的栅格数据可以通过采样点的空间插值得到,插值得到的数据值都是连续的。将城市空气质量划分为 3 等级:健康、一般、不健康。表 1 中列出了每个指标所对应的城市空气质量划分标准。根据模糊数学中的三角形分布函数(图 3)。

表 1 城市空气质量评价标准  
Tab. 1 Evaluation criteria of urban air quality

单位:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

空气质量等级	悬浮物质 (PW)	二氧化硫 (SO <sub>2</sub> )	一氧化碳 (CO)	二氧化氮 (NO <sub>2</sub> )
D1 健康	15	15	1 000	10
D2 一般	30	30	2 000	20
D3 不健康	45	45	3 000	30

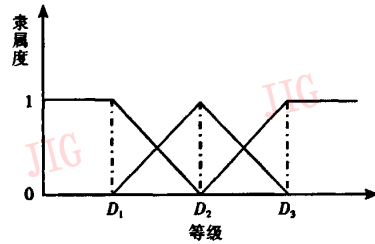


图 3 模糊分类的隶属函数

Fig. 3 Membership function of the uncertain classification

对评价指标进行模糊子集划分,建立了统一的一元线性隶属函数  $(\mu_1, \mu_2, \mu_3)$ 。4 个指标的权重为 0.30、0.25、0.25、0.20,  $\bar{A} \circ R$  的合成运算设为相乘,则根据上述 GIS 模糊综合评价模型构建原理,利用 ArcGIS 9.0 中的 Model 编辑器建立了基于多源栅格层的城市空气质量模糊综合评价模型。

$$\mu_1 = \begin{cases} 1 & 0 \leq x \leq D_1 \\ \frac{D_2 - x}{D_2 - D_1} & D_1 < x < D_2 \\ 0 & x \geq D_2 \end{cases}$$

$$\mu_2 = \begin{cases} 0 & x \leq D_1 \text{ or } x \geq D_3 \\ \frac{x - D_1}{D_2 - D_1} & D_1 < x < D_2 \\ 1 & x = D_2 \\ \frac{D_3 - x}{D_3 - D_2} & D_2 < x < D_3 \end{cases}$$

$$\mu_3 = \begin{cases} 0 & x \leq D_2 \\ \frac{x - D_2}{D_3 - D_2} & D_2 < x < D_3 \\ 1 & x \geq D_3 \end{cases}$$

在 ArcGIS 9.0 中运行已经建立的模型,可以在很短的时间得到所有过程的栅格图像,并且可显示在 ArcMAP 平台上,还可进行属性查询,表 2 就是通过随机查询得到所有栅格图像的属性值。对模糊综合评价结果采取最大隶属度法,可确定每个栅格所

代表的空气质量等级,并制定空气质量等级分布图(图 4),随机抽样的 8 个栅格点分布在图 4 上,  $P_2$  和  $P_8$  栅格点的空气质量状况等级为健康,空气质量状况一般的栅格点为  $P_1$ 、 $P_3$ 、 $P_6$ 、 $P_7$ ,空气质量状况不健康的栅格点为  $P_4$ 、 $P_5$ 。结果表明,该模型能够较好地解决多源栅格数据的模糊综合评价问题,并且可以在地理信息系统及遥感图像处理软件平台中实现,结构简单,既容易构建又容易修改,而且可以快速得到结果。

表 2 栅格的属性值、隶属度及模糊评价结果

Tab.2 Property, fuzzy membership and evaluation results of the raster

栅格	PW	PW 隶属度	SO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub> 隶属度	CO	CO 隶属度	NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub> 隶属度	评价结果	最大隶属等级
$P_1$	21	0.6, 0.4, 0	35	0.0, 0.67, 0.33	2000	0, 1, 0	16	0.4, 0.6, 0	0.26, 0.66, 0.08	一般
$P_2$	14	1, 0, 0	20	0.67, 0.33, 0	1200	0.8, 0.2, 0	12	0.8, 0.2, 0	0.83, 0.17, 0	健康
$P_3$	33	0, 0.8, 0.2	23	0.47, 0.53, 0	1850	0.15, 0.85, 0	24	0, 0.6, 0.4	0.16, 0.7, 0.14	一般
$P_4$	47	0, 0, 1	41	0, 0.27, 0.73	3200	0, 0, 1	28	0, 0.2, 0.8	0, 0.11, 0.89	不健康
$P_5$	40	0, 0.33, 0.67	38	0, 0.47, 0.53	2940	0, 0.06, 0.94	32	0, 0, 1	0, 0.23, 0.77	不健康
$P_6$	26	0.27, 0.73, 0	21	0.6, 0.4, 0	2170	0, 0.83, 0.17	23	0, 0.7, 0.3	0.23, 0.67, 0.1	一般
$P_7$	38	0, 0.47, 0.53	29	0.07, 0.93, 0	2500	0, 0.5, 0.5	18	0.2, 0.8, 0	0.06, 0.66, 0.28	一般
$P_8$	10	1, 0, 0	17	0.87, 0.13, 0	1080	0.92, 0.08, 0	11	0.9, 0.1, 0	0.93, 0.07, 0	健康

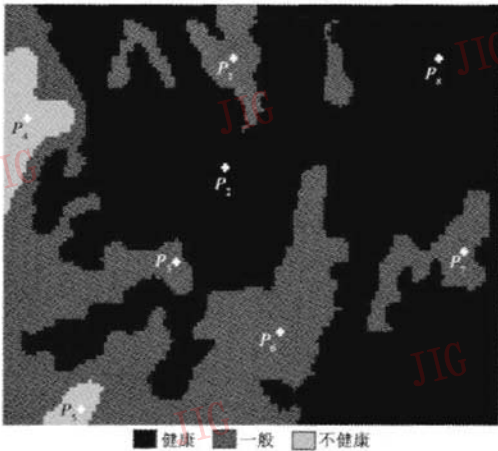


图 4 空气质量等级分布图

Fig. 4 Distribution of air quality level

到多源海量空间数据中。空间信息是目前人类接触的最多信息之一, GIS 空间叠置分析功能能够处理各种海量空间信息,其中 GIS 中栅格叠置分析功能,可方便建立各种数学模型模拟复杂模糊的自然社会现象及系统过程。利用多源空间信息及模糊数学原理,以 GIS 空间技术为手段,建立基于 GIS 多源栅格数据的模糊综合评价模型,可以对地球系统中的许多现象进行综合评价与分析。该模型可以在地理信息系统及遥感图像处理软件平台中实现,既容易构建又容易修改,而且可快速得到结果,不需要进行复杂的编程。实践证明,该模型能够较好地解决多源栅格数据的模糊综合评价问题。

参考文献 (References)

- 1 Zhou Cheng-hu, Luo Jian-cheng, Yang Xiao-mei, et al. Geographical Study and Analyze of Remote Sensing Images [M]. Beijing: Science Press, 2001. [周成虎, 骆剑承, 杨晓梅等. 遥感影像地学理解与分析[M]. 北京: 科学出版社, 2001.]
- 2 Wang Xin-zhou, Shi Wen-zhong, Wang Shu-liang. Fuzzy Spatial Information Processing [M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2003. [王新洲, 史文中, 王树良. 模糊空间信息处理[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2003.]
- 3 Huang Bo, Xu Guan-hua, Yan Shou-yong. The design of fuzzy

5 结 论

模糊综合评价方法是目前多指标综合评价实践中应用最广的方法之一,已经在环境、自然灾害、土地资源、地质等众多领域得到大量应用,但很少应用

- spatial overlay model in GIS[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 1996, 25(1): 53 ~ 56. [黄波, 徐冠华, 阎守邕. GIS 中空间模糊叠加模型的设计[J]. *测绘学报*, 1996, 25(1): 53 ~ 56.]
- 4 Jiang B, Kainz W. Fuzzy overlay analysis with linguistic degree terms [A]. In: Kraak M J, Molenaar M, eds. *Advances in GIS Research II: Proceedings of 7th International Symposium on Spatial Data Handling*[C]. London: Taylor & Francis, 1996: 301 ~ 318.
  - 5 Thomas Behr, Ralf Hartmut Guting. Fuzzy spatial objects: An algebra implementation in SECONDO[J]. *Proceedings of the 21st International Conference on Data Engineering(ICDE 2005)*.
  - 6 Yu Qiang-yuan, Liu Da-you, Wang Sheng-sheng. A fuzzy overlay analysis model for raster map layer [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2004, 9(7): 832 ~ 836. [虞强源, 刘大有, 王生生. 一种栅格图层的模糊叠置分析模型[J]. *中国图象图形学报*, 2004, 9(7): 832 ~ 836.]
  - 7 Cai Ai-min, Cha Liang-song, Liu Dong-liang, et al. Fuzzy synthesis evaluation and judgment analysis of GIS data quality [J]. *Geo-Information Science*, 2005, 7(2): 50 ~ 53. [蔡爱民, 查良松, 刘东良等. GIS 数据质量的模糊综合评价评判分析[J]. *地球信息科学*, 2005, 7(2): 50 ~ 53.]
  - 8 Shi Wen-zhong, Wang Shu-liang. Further development of theories and methods on attribute uncertainty in GIS[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2002, 6(5): 393 ~ 400. [史文中, 王树良. GIS 中属性不确定性的处理方法及其发展[J]. *遥感学报*, 2002, 6(5): 393 ~ 400.]
  - 9 Gao Ji-xi, Zhong-cun Wu-yang, Pan Ying-zi. Evaluation of Vulnerability to Flood—A Case Study of Dongting Lake Area [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2004. [高吉喜, 中村武祥, 潘英姿. 洪水易损性评价——洞庭湖地区案例研究[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2004.]
  - 10 Tang Chuan, Zhu Jing. A GIS based regional torrent risk zonation [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(1): 87 ~ 94. [唐川, 朱静. 基于 GIS 的山洪灾害风险区划[J]. *地理学报*, 2005, 60(1): 87 ~ 94.]
  - 11 Jiang Wei-guo, Chen Yun-hao, Li Jing. Change and spatial pattern of eco-environment in the farming-pastoral ecotone of the northern China [J]. *Journal of Natural Resources*, 2005, 20(6): 871 ~ 878. [蒋卫国, 陈云浩, 李京. 中国北方农牧交错带生态环境的空间格局演变[J]. *自然资源学报*, 2005, 20(6): 871 ~ 878.]
  - 12 Guleda Onkal-Engin, Ibrahim Demir, Halil Hiz. Assessment of urban air quality in Istanbul using fuzzy synthetic evaluation [J]. *Atmospheric Environment*, 2004, 38(23): 3809 ~ 3815.
  - 13 Huang Chong-fu. Fuzzy risk assessment of urban natural hazards[J]. *Fuzzy Sets and System*, 1996, 83: 271 ~ 282.
  - 14 Feng Li-hua, Wu Zhang-rong. Fuzzy comprehensive evaluation on regional vulnerability [J]. *Geography and Territorial Research*, 2001, 17(2): 63 ~ 66. [冯利华, 吴樟荣. 区域易损性的模糊综合评价[J]. *地理学与国土研究*, 2001, 17(2): 63 ~ 66.]
  - 15 Hu Ji-cai, Wan Fu-jun, et al. *Fuzzy Mathematics* [M]. Wuhan: Wuhan Surveying and Mapping Technology University Press, 1998. [胡继才, 万福钧等. *应用模糊数学* [M]. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 1998.]