

# 基于模糊度的不确定地理目标的形式化描述方法

何建华<sup>1,2</sup> 刘耀林<sup>1,2</sup>

(1 武汉大学资源与环境科学学院,武汉市珞喻路 129 号,430079)  
(2 武汉大学教育部地理信息系统重点实验室,武汉市珞喻路 129 号,430079)

**摘 要:**在对模糊度分析的基础上,研究了地理目标位置与属性不确定性的集成度量策略,提出了基于四元组  $(x,y,A,D)$  的能集成表达位置和属性不确定性的模糊点、模糊线和模糊面的形式化描述方法。以模糊度曲面在建设项目选址空间决策中的应用为例,探讨了基于该形式化描述方法的模糊分析应用。实验结果表明,该形式化描述方法是一种有效集成位置与主题属性不确定性的方法。  
**关键词:**不确定性;形式化描述;模糊度;空间决策  
**中图法分类号:**P208

近年来,有关不确定性问题的研究已经成为 GIS 及相关学科的一个研究热点。不确定性可分为概率和认知的不确定性两方面的内容<sup>[1~3]</sup>。前者表现为地理信息的随机性(位置不确定性),后者表现为地理信息的模糊性(属性和语义不确定性),据此可将地理目标分为随机目标和模糊空间目标。在随机目标的表达方面,其基本假设前提是点位误差服从正态或圆正态分布,基于此,Chrisman 等分别提出了“ $\epsilon$ -带”、“ $g$ -带”、“ $C$ 环”等随机线、面目标表达方法。在模糊空间目标的表达方面,有关模糊面目标的形式化描述成为研究焦点,Attman 等分别基于点集拓扑、模糊集的  $\alpha$  截集、有限精度的空间格网划分、模糊胞腔和模糊胞腔复形,提出了模糊面状目标的形式化表达方法。由此可以看出,关于不确定性地理目标表达的研究基本上在随机目标模型和模糊目标模型两个方向分别展开。由于 GIS 建模的地理现象往往同时具有随机性和模糊性,因此能综合处理这两种不确定性的形式化描述方法成为当前研究不确定性问题的迫切需要。

本文具体研究能集成表达地理目标的位置不确定性和主题属性模糊性(语义模糊性暂不考虑)的点、线、面目标(以下称为模糊点、模糊线和模糊面)的形式化描述方法,并以建设项目选址空间决策为例,探讨基于该形式化描述方法的模糊分析

应用。

## 1 基于模糊度的地理目标不确定性度量方法

模糊数学是一种能集成两种不确定性的建模方法,而模糊度是度量模糊集模糊性的工具,因此本文引入模糊度来定量地量测地理目标的位置和主题属性的综合不确定性。

### 1.1 模糊度

模糊度可定义为: $A \in \mathcal{C}(v)$  映射  $D: \mathcal{C}(v) \rightarrow [0,1]$ ,称作  $\mathcal{C}(v)$  上的模糊度,其中,  $\mathcal{C}$  为模糊集合。其满足:

- ① 若  $\forall x \in X, A(x) \in \{0,1\}$ , 则  $D(A) = 0$ ;
- ② 若  $\forall x \in X, A(x) = 1/2$ , 则  $D(A) = 1$ ;
- ③ 若  $\forall x \in X, A, B \in \mathcal{C}(x)$ , 有  $A(x) \geq B(x) \geq 0.5$  或  $A(x) \leq B(x) \leq 0.5$ , 则  $D(A) \leq D(B)$ ;
- ④  $D(A) = D(A^c)$ ;
- ⑤  $A, B \in \mathcal{C}(x), D(A \cup B) + D(A \cap B) = D(A) + D(B)$ 。

以上定义是通过模糊隶属度来定义模糊度的,由于函数  $D(x) = 1 - 2|0.5 - A(x)|$  满足上述定义,因此本文采用该函数进行相应转换。

### 1.2 基于模糊度的综合不确定性度量

综合不确定性的度量有两种策略:考虑主导

因素和二者的综合集成。

已有研究表明,当地理目标的主题属性的不确定性趋近于  $1(A(x)$  趋近于  $0.5)$  时,位置的不确定性可以不予考虑;反之,当趋近于  $0(A(x)$  趋近于  $1)$  时,地理目标的不确定性主要考虑位置的不确定性。由此可知,当主题属性不确定性较大( $A(x)$  趋近于  $0$ )时,地理目标的综合不确定性即可取主题属性不确定性,即目标的模糊度  $D(x)=1-2|0.5-A(x)|$ ;当主题属性不确定性较小( $A(x)$  趋近于  $1$ )时,地理目标的综合不确定性可取位置的不确定性,即  $D(x)=P_x$  ( $P_x$  为目标  $x$  位于确定位置的概率)。该方法要求首先进行地理目标的主题属性不确定性的计算,然后决定采取何种模糊度量,具有简单易操作的特点,但取主导因素相对较粗略。

综合集成表达方法假定地理目标的综合不确定性与位置、主题属性不确定性之间成函数关系  $f$ , 则其模糊度可表达为:

$$D(x) = f(D_p(x), D_A(x))$$

其中,  $D(x)$ 、 $D_p(x)$ 、 $D_A(x)$  分别表示地理目标的综合模糊度、位置不确定性模糊度和主题属性不确定性模糊度。函数  $f$  根据不同的应用取不同的合成运算。该策略具有综合考虑主题属性和位置不确定性对地理目标模糊性的影响,但二者的合成运算函数不易选取。

2 基于模糊度的不确定地理目标的形式化描述

已有的有限分辨率的模糊空间目标的表达方法和基于模糊胞腔的模糊目标统一描述等方法具有理论上的合理性,但不利于实际操作。本文在此基础上,基于点集拓扑,依据传统 GIS 空间划分方法,将地理目标分为点、线和面目标,探讨基于模糊度的能集成表达地理目标的随机性和模糊性的点、线、面目标的形式化描述方法。

2.1 模糊点的形式化描述

点集拓扑中,点被认为是空间的基元,并以此基元分别定义了线和面对象。在传统的基于确定集合的 GIS 中,二维平面的点被定义为一对  $XY$  坐标对,综合考虑其属性特征,则点目标可表达为  $P=(x,y,A)$ 。此表达方法是基于二值逻辑的,即认为位置和属性是精确的。这仅是对复杂地理世界的一种简化,随着地理分析应用的更进一步发展,要求将地理目标的不确定性带入表达和分析模型,形成对现实地理世界的更自然的表达。因此,本文相应地将以上表达扩展一维,形成四元

组表达:

$$\tilde{P} = (x,y,A,D)$$

其中,  $A$  为点目标对应的属性集,  $A=\{a_1,a_2,\cdots,a_n\}$ ;  $D$  为点  $\tilde{P}$  的模糊度。根据地理目标不确定性的不同来源,这里的  $D$  具有以下不同的物理意义。

1) 对由于位置随机性引起地理目标的模糊性情形,  $D$  理解为属性  $A$  位于点  $P(x,y)$  的可能性程度。如由于量测误差带来的不确定性,假定其服从正态分布,则  $D$  可定义为:

$$D_1(x,y) = 1 - \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2} \exp \cdot \left\{ -\frac{1}{2} \left[ \frac{(x-x_0)^2}{\sigma_1^2} - \frac{2(x-x_0)(y-y_0)}{\sigma_1\sigma_2} + \frac{(y-y_0)^2}{\sigma_2^2} \right] \right\}$$

式中,  $x_0$ 、 $y_0$  分别为连续观测样本  $x$ 、 $y$  的期望;  $\sigma_1$ 、 $\sigma_2$  分别为  $x$ 、 $y$  的方差。

2) 主题属性的模糊性主要分为分类的模糊性和概念的模糊性两类进行讨论,  $D$  表达为点  $P(x,y)$  隶属于属性  $A$  的模糊程度。遥感影像中的混合像元即是具有分类模糊性的像元,对它们的分类应根据专门领域知识进行相关隶属函数的确定。概念的模糊性是模糊表达、分析和推理必须处理的另一大类问题,如距离的远近、质量的好坏等,对这类概念的模糊性不能给出一个准确的数值,而是一个范围。最常用的是三角模糊数的表达方式  $(l,m,r)$ , 其中  $l$  为模糊集的上确界,  $r$  为模糊集的下确界,  $m$  为模糊集的核,相应的  $p$  点对应的  $D$  可定义为:

$$D_3(x,y) = \begin{cases} \frac{\|p-m\|}{\|m-l\|}, & p \in m-l \\ 0, & p \in m \\ \frac{\|p-m\|}{\|r-m\|}, & p \in r-m \end{cases}$$

式中,  $\|p-m\|$  为点  $p$  与核  $m$  的某种范数,实际应用中通常取点  $p$  到点  $m$  的距离。

3) 模糊点目标的形式化描述。由以上分析可知,四元组  $(x,y,A,D)$  能分别描述由于位置的随机性、属性的模糊性导致的地理目标的不确定性,当地理目标同时带有这几种甚至全部不确定性来源时,则可通过综合不确定性度量策略来确定地理目标的模糊度,达到集成表达不同来源的不确定性的目的。如利用综合集成策略时,可利用合成运算方法( $\oplus$ 为取小、求差、求积、加权等运算)作为合成函数  $f$ ,最基本的方法是模糊集的交通算,即  $D=D_1 \wedge D_2 \wedge D_3$ 。因此,模糊点目标的形式化描述为:

$$f_p(x_0,y_0,A_0,D) = \{\tilde{P}_1,\tilde{P}_2,\cdots,\tilde{P}_n\}, 0 < D \leq 1$$

即模糊点为以确定点  $P_0(x_0, y_0, A_0)$  为核(kern( $f_P$ )= $P_0$ ),以  $\tilde{P}_i(x_i, y_i, A, D)(D>0)$  为支撑的模糊集合。

2.2 模糊线的形式化描述

在确定的点集拓扑空间,线被定义为点的有序集。相应地,可定义模糊线为模糊点的有序集,即

$$f_L = \{f_{p_1}, f_{p_2}, \dots, f_{p_n}\}$$

且满足:

$$\begin{aligned} \forall f_{p_i} \in f_L, i < n &\rightarrow (f_{p_i}, f_{p_{i+1}}) \in f_L, \\ \forall i, j (i \neq j \wedge (i \neq 1 \vee j \neq n) \wedge \\ (i \neq n \vee j \neq 1)) &\rightarrow f_{p_i} \neq f_{p_j} \end{aligned}$$

即相邻点构成线段,且除起点和终点外,没有两点相等。

相应地,模糊线即是以确定线  $L = \{\text{kern}(f_{P_1}), \text{kern}(f_{P_2}), \dots, \text{kern}(f_{P_n})\}$  为核,以  $f_{P_1} \vee f_{P_2} \vee \dots \vee f_{P_n}$  为支撑的模糊集合。

2.3 模糊面的形式化描述

在确定的拓扑空间,面被定义为由边界线所封闭的区域。相应地,在模糊拓扑空间,模糊面可定义为由模糊线封闭的区域,该区域是由模糊点组成的有限集  $f_R$ :

$$f_R = \{D(x, y, A)/(x, y, A)\}$$

其中,  $f_R$  为非空双连接闭集,  $f_R$  的内部为规则双连接开集,  $f_R$  的支撑等于其内部的闭包。

3 应用研究

基于模糊度的不确定地理目标的形式化描述,可以直观地表达地理目标的综合不确定性,并且能方便地进行相关的不确定性分析运算,运算结果更自然、合理,为空间决策提供更加明确的决策信息。下面以建设项目选址为例,分析模糊度曲面在空间分析决策中的应用。

为简单起见,现假定住宅开发项目选址在图 1(a)所示的范围内,且需满足:① 交通方便;

② 远离污染源;③ 不得毁坏林地。由此规则知,该决策中存在概念的模糊性(交通方便和远离污染源)和目标的模糊性(林地界限)。对条件①,解析为距离交通线路近,模糊概念可用隶属函数  $\mu_l = \text{sigmf}(d, [1, 6])$  表示,其中,  $\text{sigmf}$  为 S 形隶属函数;  $d$  为距道路的距离。相应的模糊度可表达为:

$$D_1(x) = 1 - 2 | 0.5 - \text{sigmf}(d, [1, 6]) |$$

基于此,建立距离模糊度曲面,如图 1(b)所示。对条件②,解析为距离图 1(a)上点状目标(假定为污染源)的距离,对应的模糊度为  $D_2(x) = 1 - d(p, (x, y))/c$ ,其中,  $d(p, (x, y))$  为  $(x, y)$  到点  $p$  的距离;  $c$  为常数,并进行归一化处理。建立相应的模糊度曲面如图 1(c)所示。对条件③,解析为森林目标的模糊性,在此以模糊度函数  $D_3(x) = 1 - \text{sqrt}(d(r, (x, y))/d_{\max})$  来模拟,  $d(r, (x, y))$  为  $(x, y)$  距多边形  $r$  的距离,  $d_{\max}$  为距  $r$  的最大距离(预设),则结果如图 1(d)所示。通过对三种模糊度进行合成运算,本例取  $\oplus$  为  $\wedge$ ,建立综合模糊度的曲面如图 1(e)所示,其中亮色为模糊度低的部分。

由于该方法能方便地给出不同模糊度水平下的分析结果,因此,它在模糊空间辅助决策中能方便地融入决策者或领域专家的经验,使决策的结果更符合实际。

4 结 语

不确定地理目标的形式化描述和表达是模糊 GIS 研究的基础,已有的成果基本都是在地理目标的位置不确定性和属性不确定性两个方向分别研究了它的建模和表达。本文的实验结果表明,基于模糊度的不确定地理目标的形式化描述方法是一种有效集成位置与主题属性不确定性的方法。

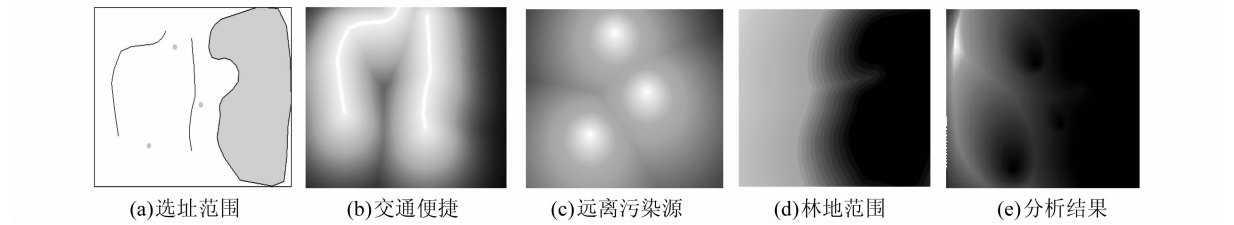


图 1 建设项目选址决策过程

Fig. 1 Decision Making of Construction Location

参 考 文 献

1

Altman D. Fuzzy Set Theoretic Approached for Handling Imprecision in Spatial Analysis. *Int. Journal of Geographical Information Systems*, 1994, 8(3):271~289

2

Goodchild M F. Measurement-based GIS. *The International Symposium on Spatial Data Quality 99*, Hong Kong, 1999

3

Burrough P A, Frank A U. *Geographic Objects with Indeterminate Boundaries*. London: Taylor and Francis, 1996

4

Shi W Z. Modelling Positional and Thematic Uncertainties in Intergration of Remote Sensing and GIS: [Ph. D Dissertation]. Amsterdam: ITC, 1994

5

Zhan F M. Approximate Analysis of Binary Topological Relations Between Geographic Regions with Indeterminate Boundaries. *Journal of Soft Computing*, 1998, 19(2):28~34

6

Ahlqvist O, Keukelaar J, Oukbir K. Rough and Fuzzy Geographical Data Integration. *Journal of Geographic Information System*, 2003, 17(3):223~234

第一作者简介:何建华,博士生。主要研究领域为模糊空间推理、土地信息系统等。  
E-mail:hjianh@126.com

Formalized Description of Indeterminate Geographic Object Based on Fuzzy Degree

HE Jianhua<sup>1,2</sup> LIU Yaolin<sup>1,2</sup>

(1 School of Resource and Environment Science, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)  
(2 Key Laboratory of Geographic Information System, Ministry of Education, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

**Abstract:** This paper designs a formalized description model based on the quartuple( $x, y, A, D$ ), which integrates the positional and thematic uncertainties of the fuzzy point, fuzzy line and fuzzy region. On the basis of the model, this paper gives a case of the site selection of real estate development to test that the representation method is apt for fuzzy analyses and computation.

**Key words:** uncertainty; formalization description; fuzzy degree; spatial analysis and decision

About the first author: HE Jianhua, Ph. D candidate, majors in fuzzy spatial analysis, land information system, etc.  
E-mail: hjianh@126.com

(责任编辑: 涓涓)

欢迎订阅 2005 年《测绘信息与工程》

《测绘信息与工程》为测绘专业应用技术期刊,其宗旨是:贯彻从生产中来、到生产中去的办刊原则,面向测绘行业发展的实际,发表对测绘行业具有直接指导作用的技术、管理和教育文章,沟通测绘研究和应用的联系,普及测绘新技术,提高测绘行业的技术含量及从业人员技术水平。本刊开辟的栏目均面向读者需要,并已形成特色和优势,具有较好的社会适应性。本刊为湖北省优秀期刊,收录本刊论文的数据库主要有 CAS、PJK 等。本刊读者对象为测绘及相关专业的技术人员、管理人员、教育人员以及大学生、研究生等。

本刊为双月刊,国内外公开发行,邮发代号:38-316。A4 开本,56 面,定价 4 元/册,逢双月 5 日出版。漏订的读者可以与编辑部联系补订。