

文章编号:1671-8860(2011)12-1414-04

文献标志码:A

# 高阶模糊地理对象的方向关系研究

郭继发<sup>1</sup>

(1 天津师范大学城市与环境科学学院,天津市宾水西道393号,300387)

**摘要:**根据区间II型模糊集理论研究了高阶模糊地理实体的方向表示方法,提出以方向场描述其方向隶属度,以分区方向场代替原始方向场,研究了高阶模糊地理实体的方向关系分析方法,给出了方向场的隶属度误差差和方向关系的隶属度误差表示方法。

**关键词:**方向关系;高阶模糊性;区间II型模糊集;方向场

中图法分类号:P208

高阶模糊性是模糊地理现象的自然属性<sup>[1-7]</sup>,用高阶模糊理论研究模糊地理现象更客观。本文中,高阶模糊对象特指区间II型模糊对象,将基于经典模糊集的模糊空间对象模型称为I型模糊对象模型。

对于空间对象的方向关系,目前已经有了广泛研究,建立了多种不同的方向关系模型和分析方法<sup>[8]</sup>,但这些模型均存在多种缺陷<sup>[9,10]</sup>。因此,笔者提出了8方向模糊不均匀划分模型。在本文对模糊对象的方向关系描述的研究中,主要考虑属性的模糊性和方向概念的模糊性两方面。本文根据8方向模糊不均匀划分模型,利用IT2 FS理论研究区间II型模糊对象的方向关系。

## 1 空间精确对象的方向场描述

栅格空间的方向场定义为栅格空间中对象的某个方向的区域,由于方向概念的模糊性,方向场以模糊区域来表示,即以栅格空间中对象外的任意点属于某方向的隶属度来表示该方向。栅格空间中的对象由一系列离散点组成,过参考对象R中任意点q可作8条基本方向线。p为栅格空间中R外的任意点,以基本向量 $u_\theta$ 表示基本方向线,那么向量 $qp$ 与基本方向线的夹角可表示为:

$$\beta(p, q) = \arccos \left[ \frac{\mathbf{qp} \cdot \mathbf{u}_\theta}{\|\mathbf{qp}\|} \right], \text{且 } \beta(p, p) = 0 \quad (1)$$

在8方向模糊不均匀划分模型中,主要方向各占60°,次要方向各占30°,并建立了主、次方向的隶属函数<sup>[9]</sup>,通过任意方位角与基本方向线的夹角来定义该方位角属于某方向的隶属度。主、次方向的隶属函数用式(2)定义:

$$\mu_\theta(\alpha) = \begin{cases} -\frac{2}{\pi}\alpha + 1, & 0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2}, \theta \in \{N, E, S, W\} \\ -\frac{4}{\pi}\alpha + 1, & 0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{4}, \theta \in \{NE, SE, SW, NW\} \end{cases} \quad (2)$$

进一步可以定义点p属于参考对象某个方向的隶属度:

$$\mu_\theta(R, p) = \max_{q \in R, p \notin R} (\mu_\theta(\alpha_{qp})) \quad \theta \in \{N, NE, E, SE, S, SW, W, NW\} \quad (3)$$

通过式(3)可以确定参考对象R的各方向场,最后求在点p8个或4个方向片中的最大隶属度来确定点p与参考对象的方向关系:

$$\text{Dir:} \max(\mu_\theta(R, p)) \quad \theta \in \{N, NE, E, SE, S, SW, W, NW\} \quad (4)$$

## 2 区间II型模糊对象的方向概念描述

### 2.1 区间II型模糊对象的表示

为了度量隶属度误差,将简单模糊点定义为

收稿日期:2011-10-25。

项目来源:国家科技支撑计划资助项目(2008BAK50B01);天津师范大学博士基金资助项目(52XB1008);天津师范大学空间信息服务中心重点实验室基金资助项目(53H10070)。

$\tilde{P}(a, b)$  ( $a, b \in R^2$ ) 为论域  $X$  上的简单模糊点, 定义为:

$$\mu_{\tilde{P}(a, b)}(x, y) = \begin{cases} [v_1, v_2], & (x, y) = (a, b) \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

式中,  $v_2, v_1$  分别为点  $\tilde{P}$  的上隶属度和下隶属度,  $0 \leq v_1 \leq v_2 \leq 1$ 。当  $0 < v_1 = v_2 \leq 1$  时, 简化为 I 型模糊点;  $v_1 = v_2 = 0$  时, 表示在该位置不存在某种属性; 当  $v_1 = v_2 = 1$  时, 为分明点; 当  $v_2 = 1$  时, 为标准 II 型模糊点。模糊线和模糊面是模糊点的集合, 上隶属函数和下隶属函数表示为  $f(x, y)$  和  $\bar{f}(x, y)$ 。连续空间中的简单模糊面如图 1 所示。可以看出, 区间 II 型模糊面的上、下隶属度曲面分别为 I 型模糊面, 它们的差值描述了隶属度误差。

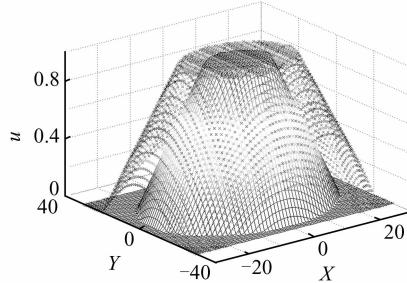


图 1 连续空间中的正则简单模糊面

Fig. 1 Normal Simple Interval Type II Fuzzy Region in Infinite Space

## 2.2 I 型模糊对象的方向场

本文通过模糊逻辑的方法来确定两个模糊对象的方向关系。为了确定模糊空间对象的方向场, 首先将式(3)修改为:

$$\mu_{\theta}(R, p) = \max_{q \in \text{supp}(R)} T(\mu_R(q), \mu_{\theta}(\alpha_{qp})) \quad (6)$$

$$\theta \in \{N, NE, E, SE, S, SW, W, NW\}$$

空间中任意点与参考对象的方向关系可以用式(4)来确定, 图 1 中简单模糊面的上隶属度确定的模糊面的 N 和 SE 方向片如图 2 所示。

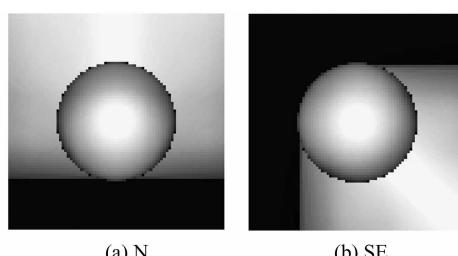


图 2 模糊对象的方向场 1

Fig. 2 Direction Tile 1 of Fuzzy Object

前文确定的模糊对象方向场的前提是外部点的隶属度等于 0, 从图中可以看出模糊对象的轮廓

廓。事实上, 模糊对象并不存在分明的边界, 对式(3)进行修改, 取消  $p \notin R$  的条件限制, 即可得到模糊对象方向片的另一种状态, 如图 3 所示。这种状态忽视模糊对象的边界, 不再区分内部参考框架和外部参考框架, 而是将其统一为直接参考框架, 但是这种方法不能区分出参考对象。一般情况下, 状态 1 更符合人们的习惯, 本文主要研究绝对外部方向关系, 因此采用状态 1 进行研究。

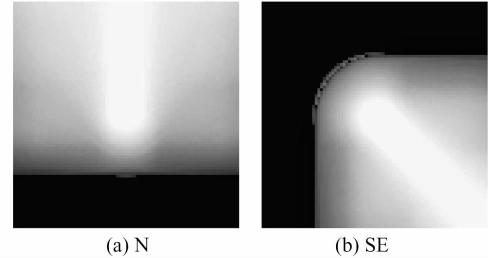


图 3 模糊对象的方向场 2

Fig. 3 Direction Tile 2 of Fuzzy Object

## 2.3 区间 II 型模糊对象的方向场

区间 II 型模糊对象的方向片也由上隶属函数和下隶属函数来度量。式(6)可修改为:

$$\mu_{\theta}(\tilde{R}, p) = \max_{q \in \text{supp}(\tilde{R})} T(\mu_{\tilde{R}}(q), \mu_{\theta}(\alpha_{qp})) \quad (7)$$

$$\theta \in \{N, NE, E, SE, S, SW, W, NW\}$$

从式(7)可以看出, 区间 II 型模糊对象的方向片主要由参考对象的上、下隶属度确定。图 1 中简单 II 型模糊对象在绝对外部参考框架下的方向片的下隶属度如图 4 所示。

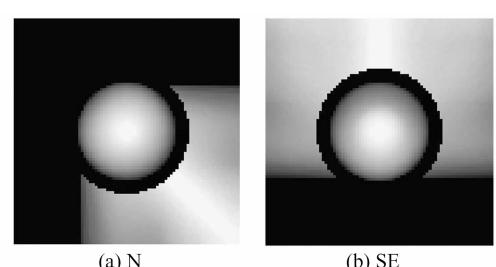


图 4 II 型模糊对象的方向场 1 的下隶属度

Fig. 4 Low Membership Grade of Direction Space 1 for Interval Type II Fuzzy Object

方向场中任意点  $p(x, y)$  隶属于区间 II 型模糊对象  $\tilde{R}$  的方向片  $\theta$  的方向误差可表示为:

$$\epsilon_{(\tilde{R}, p)} = \overline{\mu_{\theta}}(\tilde{R}, p) - \underline{\mu_{\theta}}(\tilde{R}, p) \quad (8)$$

## 2.4 方向场的分区

模糊对象或精确对象的各方向场间没有明确的界线, 从一个方向场向相邻方向场是逐渐过渡的, 这种方向场符合人们的认知规律, 但是在确定方向关系时却存在一些缺陷。因此, 在确定方向片的方向场后, 需要进一步确定相邻方向场的分

界线。

### 3 区间 II 型模糊对象间的方向关系

在栅格空间中,对象可分为精确对象、I型模糊对象和II型模糊对象,方向场为I型模糊场和II型模糊场,精确对象可以认为是隶属度为1的特殊模糊对象。因此,栅格空间中对象间的方向关系可分为两类:I型模糊方向关系和II型模糊关系。无论是那种方向关系,首先需要确定参考对象的4个或者8个方向场。

I型模糊方向关系是参考对象和目标对象为精确对象或I型模糊对象的方向关系,此时的方向场为I型模糊场。设参考对象R的8个方向场为{N,NE,E,SE,S,SW,W,NW},以目标对象与各方向场的交集的积分除以目标对象的面积来表示目标对象位于该方向场的权重,通过确定最大权重来确定目标对象与参考对象间的方向关系:

$$p(\theta_R, B) = \frac{\sum \mu(\theta_R) \cap \mu(B)}{\sum \mu(B)}$$

$$\theta_R = \{N, NE, E, SE, S, SW, W, NW\} \quad (9)$$

然后判断最大的  $p(\theta_R, B)$  即可确定方向关系。

II型模糊方向关系的方向场和目标对象必须有1个是II型的,因此可分为3种情况。

1) 方向场是II型的,那么参考对象必然是II型模糊对象,而目标对象可以是精确对象或者I型模糊对象,那么方向片的权重为:

$$\tilde{p} = [\underline{p}(\theta_R, B), \bar{p}(\theta_R, B)]$$

$$\underline{p}(\theta_R, B) = \frac{\sum \underline{\mu}(\theta_R) \cap \mu(B)}{\sum \mu(B)}$$

$$\theta_R = \{N, NE, E, SE, S, SW, W, NW\} \quad (10)$$

$$\bar{p}(\theta_R, B) = \frac{\sum \bar{\mu}(\theta_R) \cap \mu(B)}{\sum \mu(B)}$$

$$\theta_R = \{N, NE, E, SE, S, SW, W, NW\} \quad (11)$$

2) 方向场是I型的,目标对象是II型的,此时参考对象可能为精确对象或I型模糊对象。依据区间数除法运算,各方向片的最大、最小权用下式计算:

$$\underline{p}(\theta_R, \tilde{B}) = \frac{\sum \mu(\theta_R) \cap \underline{\mu}(\tilde{B})}{\sum \underline{\mu}(\tilde{B})}$$

$$\theta_R = \{N, NE, E, SE, S, SW, W, NW\} \quad (12)$$

$$\bar{p}(\theta_R, \tilde{B}) = \frac{\sum \mu(\theta_R) \cap \bar{\mu}(\tilde{B})}{\sum \bar{\mu}(\tilde{B})}$$

$$\theta_R = \{N, NE, E, SE, S, SW, W, NW\} \quad (13)$$

可见每个方向片的权重均为区间数  $\tilde{p} = [\underline{p}(\theta_R, \tilde{B}), \bar{p}(\theta_R, \tilde{B})]$ ,那么通过区间数比较法确定目标对象与参考对象间的方向关系。

3) 方向场是II型的,参考对象和目标对象均为II型模糊对象。同样,依据区间数除法运算求得各方向片的权重为:

$$\tilde{p} = [\underline{p}(\theta_R, \tilde{B}), \bar{p}(\theta_R, \tilde{B})]$$

$$\underline{p}(\theta_R, \tilde{B}) = \frac{\sum \underline{\mu}(\theta_R) \cap \underline{\mu}(\tilde{B})}{\sum \underline{\mu}(\tilde{B})}$$

$$\theta_R = \{N, NE, E, SE, S, SW, W, NW\} \quad (14)$$

$$\bar{p}(\theta_R, \tilde{B}) = \frac{\sum \bar{\mu}(\theta_R) \cap \bar{\mu}(\tilde{B})}{\sum \bar{\mu}(\tilde{B})}$$

$$\theta_R = \{N, NE, E, SE, S, SW, W, NW\} \quad (15)$$

可见以上3种情况的计算方法一致,只是各式中对象的取值不同,由参考对象和目标对象的类型决定。从广义上来说,所有的计算方法均可统一为式(14)、(15)。

利用区间数排序法进一步确定目标对象与参考对象的方向关系,即求出最大的方向隶属度区间权重:

$$\mu(\tilde{R}, \tilde{B}) = \max[(\underline{p}(\theta_R, \tilde{B}), \bar{p}(\theta_R, \tilde{B}))] \quad (16)$$

式中,  $\theta_R = \{N, NE, E, SE, S, SW, W, NW\}$ 。那么,对应最大的隶属度区间的方向  $\theta_R$  即为目标对象和模糊对象的方向关系。

### 4 应用实例

在地形分类中,山峰、山谷等特征区域具有模糊性,且在提取过程中受尺度的影响。对于类似于这样的难以定义的模糊现象,以II型模糊逻辑来描述和分析更合适<sup>[11]</sup>。以文献[12]中的方法提取中国南部某省的两个山峰区域,研究这两个山峰与附近一块耕地的方向关系,如图5所示,图5(a)为3个地理对象的下隶属度值,图5(b)为下隶属度值;  $P_1$ 、 $P_2$  为山峰,  $F_1$  为耕地。

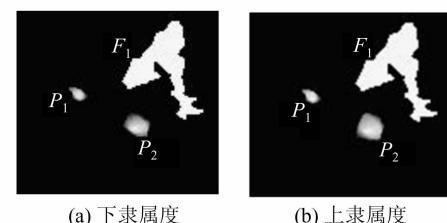


图5 区间II型模糊集描述的山峰和耕地  
Fig. 5 Two Peak Area and a Farmland Represented by Interval Type II Fuzzy Set

基于绝对外部参考框架建立  $P_2$  的方向场，并进一步划分其分区方向场，如表 1 所示。

表 1 区间 II 型模糊区域  $P_2$  的方向场Tab. 1 Direction Space of Interval Type II Fuzzy Region  $P_2$ 

		N	NE	E	SE	S	ZW	W	NW
初始方向场	LMV								
	UMV								
初始方向场	LMV								
	UMV								

依据式(9)~(15)，以分区方向场计算山峰  $P_2$  与耕地  $F_1$  和山峰  $P_1$  的方向关系，如表 2 所示，可以看出，耕地  $F_1$  主要在山峰  $P_2$  的 N 方向，

隶属度误差为 0.004 9；而山峰  $P_1$  主要在山峰  $P_2$  的 NW 方向，隶属度误差为 0.211 8。

表 2 山峰  $P_2$  与耕地  $F_1$  和山峰  $P_1$  的方向关系Tab. 2 Direction Relationship Between Peak  $P_2$  and Farmland  $F_1$  and Peak  $P_1$ 

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
$P_2-F_1$	[0.567 7, 0.572 6]	[0.175 0, 0.178 2]	[0.081 2, 0.080 6]	[0,0]	[0,0]	[0,0]	[0,0]	[0,0]
$P_2-P_1$	[0,0]	[0,0]	[0,0]	[0,0]	[0,0]	[0,0]	[0.114 2, 0.195 3]	[0.721 4, 0.933 2]

## 参 考 文 献

- [1] Kulik L. Spatial Vagueness and Second-Order Vagueness[J]. Spatial Cognition & Computation, 2003, 3(2/3): 157-183
- [2] Cheng Tao, Fisher P, Zhilin I. Double Vagueness: Uncertainty in Multi-scale Fuzzy Assignment of Duneness[J]. Geo-spatial Information, 2004, 7(1): 58-66
- [3] Fisher P, Arnot C, Wadsworth R, et al. Detecting Change in Vague Interpretations of Landscapes[J]. Ecological Informatics, 2006(1): 163-178
- [4] Fisher P, Cheng T, Wood J. Higher Order Vagueness in Geographical Information: Empirical Geographical Population of Type  $n$  Fuzzy Sets [J]. Geoinformatica, 2007, 11: 311-330
- [5] Fisher P, Arnot C. Mapping Type 2 Change in Fuzzy Land Cover[C]. Geographic Uncertainty in Environmental Security, Berlin, 2007
- [6] Du G, Zhu Z. Modelling Spatial Vagueness Based on Type-2 Fuzzy Set[J]. Journal of Zhejiang University Science A, 2006, 7(2): 250-256
- [7] 虞强源, 刘大有, 欧阳继红. 基于区间值模糊集的模

糊区域拓扑关系模型[J]. 电子学报, 2005, 33(1): 186-189

- [8] 杜世宏, 王桥, 秦其明. 空间关系模糊描述与组合推理[M]. 北京: 科学出版社, 2007
- [9] 郭继发, 王瑞芳, 彭光雄. 顾及参考点点位误差 8 方向模糊不均匀划分模型[J]. 计算机应用研究, 2010, 27(2): 479-482
- [10] 郭继发, 崔伟宏. 八方向模糊不均匀划分及参考点位误差所致不确定性分析[J]. 遥感学报, 2010, 14(5): 879-892
- [11] Fisher P. What is Where? Type-2 Fuzzy Sets for Geographical Information[J]. IEEE Computational Intelligence Magazine, 2007(2): 9-14
- [12] Fisher F, Wood J, Cheng T. Where is Helvellyn? Multiscale Morphometry and the Mountains of the English Lake District [J]. Transactions of the Institute of British Geographers, 2004, 29: 106-128

作者简介: 郭继发, 博士, 讲师, 研究方向为模糊地理信息建模和分析、时空数据库及其不确定性。

E-mail: guojfx2004@163.com

(下转第 1422 页)