

基于 Flou 集的模糊叠置分析模型^{*}

陈黎明, 郭嗣琮, 毕玲玲

(辽宁工程技术大学 理学院, 辽宁 阜新 123000)

摘要: 利用 Flou 集描述模糊区域, 基于 Flou 集给出了一种栅格图层的模糊叠置分析模型。该模型可以实现普通模糊叠置和加权模糊叠置, 而采用 Flou 集, 可以有效地避免用模糊集表示模糊区域, 处理模糊对象内部元素之间及模糊对象与其他空间对象之间关系时遇到的困难, 而且符合人们用分明区域的方式描述不确定区域的认知习惯。实例表明, 该模型能够较好地解决 Flou 集表示的图层间的模糊叠置分析问题。

关键词: 模糊区域; Flou 集; 模糊叠置分析; 地理信息系统

中图分类号: TP18; TP391

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2013)01-0130-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2013.01.032

Fuzzy overlay analysis model based on Flou sets

CHEN Li-ming, GUO Si-cong, BI Ling-ling

(College of Liaoning Technical University, Fuxin Liaoning 123000, China)

Abstract: The method described the fuzzy regions using Flou sets. Then it proposed an overlay analysis model of fuzzy raster map layers based on Flou sets. The model could complete general fuzzy overlay and weighted fuzzy overlay. The fuzzy overlay model could avoid the difficulty in dealing with the relations between fuzzy spatial objects through using fuzzy sets to represent the fuzzy region, and the fuzzy overlay result accord with the cognitive principle of people. The practical case shows that this model can well solve fuzzy overlay analysis between the map layers described as Flou sets.

Key words: fuzzy region; Flou set; fuzzy overlay analysis; GIS

0 引言

地理信息系统(GIS)作为空间信息决策支持系统,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。空间叠置分析是GIS空间分析的一个重要内容,它通过将同一区域多要素、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、差异以及动态变化特征,也可揭示某些自然现象的空间分布规律。如今,空间叠置分析已是地理、地质等领域综合评价和分析的一种重要手段^[1~4]。例如,将坡度、水系、植被和居民地四个图层进行叠置来分析越野机动的通行能力。GIS的图层叠置分析通常分为矢量图层叠置和栅格图层叠置两种形式。栅格具有比较精确的空间位置,栅格图层叠置具有真正的空间意义。目前,大多数GIS平台都提供栅格分析模型,以栅格为研究单元可方便地建立各种复杂的数学模型,对各种复杂现象和系统过程进行模拟。

在地理信息系统中,空间数据不确定性和空间概念的模糊性都可能导致空间目标的模糊性。近年来模糊叠置越来越受到相关领域研究者的重视。现有的模糊叠置模型大都先将模糊图层建模成一个经典的模糊集,然后基于模糊集的与、或和加权综合等运算来实现模糊叠置分析^[5,6]。文献[7]给出了一种使用语言程度术语的模糊叠置分析模型。文献[8]则通过模糊集合的凸结合给出了多图层的模糊加权凸结合方法,又针对

各因素的非补偿情形给出了非折中形式的凸结合方法。文献[9]给出了利用能量函数的模糊叠置综合方法,即通过计算多个模糊集合的能量度量来得到结果模糊集。文献[10]把模糊区域建模成一个区间值模糊集,然后基于区间值模糊集的运算给出了一种栅格图层的模糊叠置分析模型,可以实现普通模糊叠置和加权模糊叠置。

基于模糊集的模糊区域表示模型,语义表达能力更强,使其更适合对自然现象的建模,然而却给模糊对象的进一步分析和处理带来了困难。事实上,在很多情况下,不需要知道空间中栅格对某个模糊区域的详尽隶属度信息,人们还是可以理解其内在含义并进行推理。例如,人们都知道珠穆朗玛峰属于喜马拉雅山,尽管人们对空间中各点对珠穆朗玛峰和喜马拉雅山两个概念的具体隶属值并不了解。由此看来,栅格对区域的具体隶属值并不必然影响人们对此空间的理解和判断。因此,对空间区域作近似处理是可行的。这时,对于一个模糊区域 G ,整个空间范围内每个栅格单元的取值为0、1之间的分数。取值为1的栅格确定属于区域 G ;取值为0的栅格确定不属于区域 G ;其他取值的栅格可能属于区域 G ,且取值越大,属于区域 G 的可能性就越大。这三类取值的栅格所构成的区域 G 分别称为核区 G^0 、边界 ∂G 和外部 G^- ,则区域 G 可表示为 $\{G^0, G^0 \cup \partial G\} = \{G_1, G_2\}$ 。由于 $G_1 \subseteq G_2$,所以 G 是一个Flou集,它表示的区域就是一个Flou区域。

收稿日期: 2012-05-29; 修回日期: 2012-06-30 基金项目: 教育部高校博士学科点专项科研基金(博导类)资助项目(20102121110002)

作者简介: 陈黎明(1986-),男,河南开封人,硕士研究生,主要研究方向为模糊信息处理、非经典集合理论等(670856479@qq.com);郭嗣琮(1951-),男,吉林白城人,教授,博导,主要研究方向为模糊控制理论与应用、系统决策与预测、模糊信息处理、信息科学与软计算等;毕玲玲(1986-),女,河北邯郸人,硕士研究生,主要研究方向为生物数学等。

Flou 集是 1968 年 Gentihomme^[11]提出的一种新的非经典集合,他将论域分为三类:第一类为中心元素类,即这些元素一定满足某种属性;第二类为周边元素,即可疑元素;第三类为非元素,即这些元素一定不满足某种属性。随后,文献[12~16]对 Flou 集作了进一步的研究。

本文利用 Flou 集描述由模糊概念和不确定性数据圈定的模糊区域,并基于 Flou 集给出了一种栅格图层的模糊叠置分析模型。实例表明,该方法能够较好地解决 Flou 集表示的图层间的模糊叠置分析问题。

1 Flou 集的定义及运算

首先给出 Flou 集的有关概念和运算^[11,12]。

定义 1 设 U 为论域, U 上的普通子集 m 元组 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ 称为 m -Flou 集,若 $A_1 \subseteq A_2 \subseteq \dots \subseteq A_m$ 。

m -Flou 集 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ 的意义为: A_1 中的元素为 A 的核元素,这些元素一定满足某种属性。 $A_i - A_{i-1}$ ($2 \leq i \leq m$) 中的元素为 A 的外围元素且 $A_{i+1} - A_i$ 比 $A_i - A_{i-1}$ ($2 \leq i \leq m-1$) 中的元素更可能属于 A 。 A_m^c 中的元素为 A 的非元素,这些元素一定不满足某种属性。

设论域 U 上的两个 m -Flou 集 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ 和 $B = \{B_1, B_2, \dots, B_m\}$,则定义 Flou 集的运算如下:

- 包含: $A \supseteq B \Leftrightarrow A_1 \supseteq B_1, A_2 \supseteq B_2, \dots, A_m \supseteq B_m$
- 相等: $A = B \Leftrightarrow A_1 = B_1, A_2 = B_2, \dots, A_m = B_m$
- 并集: $A \cup B \Leftrightarrow A_1 \cup B_1, A_2 \cup B_2, \dots, A_m \cup B_m$
- 交集: $A \cap B \Leftrightarrow A_1 \cap B_1, A_2 \cap B_2, \dots, A_m \cap B_m$
- 余集: $A^c = (A_m^c, A_{m-1}^c, \dots, A_1^c)$

2 模糊栅格图层的表示

模糊空间概念和不确定性空间数据所圈定的空间区域不再是精确的区域,而是一个模糊区域。例如:地壳中某种化学成分的高含量区域形成一个模糊区域。

以某种化学成分高含量圈定的区域 G 的确定为例。

设 U 表示整个空间范围内所有栅格单元构成的集合,记 A_{ij} 表示位于第 i 行第 j 列的栅格单元,每个栅格单元 A_{ij} 上某种化学成分的含量为 a_{ij} 。设这种化学成分的含量高的隶属函数为

$$\mu(a_{ij}) = \begin{cases} 1 & a_{ij} \geq 95\% \\ x & 80\% \leq a_{ij} < 95\% \\ 0 & a_{ij} < 80\% \end{cases}$$

$\forall \lambda \in (0, 1]$, 记 $G_\lambda = \{A_{ij} | A_{ij} \in U, \mu(a_{ij}) \geq \lambda\}$, 称 G_λ 为 G 的 λ 截集, λ 为置信水平。

显然,当 $\lambda_1 \geq \lambda_2$ 时, $G_{\lambda_1} \subseteq G_{\lambda_2}$ 。

给定 $\lambda_1 \geq \lambda_2, \lambda_1, \lambda_2 \in (0, 1]$, 则得到模糊区域 G 在置信水平 λ_1, λ_2 下的两个分明的估计区域 $G_{\lambda_1}, G_{\lambda_2}$, 由于 $\lambda_1 \geq \lambda_2$, 故 $G_{\lambda_1} \subseteq G_{\lambda_2}$, 则 $\{G_{\lambda_1}, G_{\lambda_2}\}$ 构成一个 2-Flou 集, 它可以作为 G 的一个近似估计, 称之为 G 在置信水平 λ_1, λ_2 下的近似估计, 记为 $G(\lambda_1, \lambda_2)$ 。一般地, 给定 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_m, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m \in (0, 1]$, 称 $G(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m) = \{G_{\lambda_1}, G_{\lambda_2}, \dots, G_{\lambda_m}\}$ 为 G 在置信水平 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ 下的近似估计或 G 的 $(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m)$ 表示。

图 1 为此种化学成分含量圈定的高含量区域 G 的 $(0.95, 0.90, 0.85, 0.80)$ 表示 $G(0.95, 0.90, 0.85, 0.80)$ 。

0	0	0	0	0	0	0	0
1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	0
1/4	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/4	0
1/4	1/3	1/2	1	1/2	1/3	1/4	0
1/4	1/3	1/2	1	1/2	1/3	1/4	0
1/4	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/4	0
1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	0
0	0	0	0	0	0	0	0

图 1 某种化学成分含量圈定的高含量区域

图 1 中五种数字的方格由大到小分别表示该种化学成分的含量 $\geq 95\%$ 、 $\geq 90\%$ 、 $\geq 85\%$ 、 $\geq 80\%$ 、 $< 80\%$ 的栅格。

若认为“高”是一个分明的概念, 即当 a_{ij} 大于等于某一值时, 这种化学成分的含量为“高”, 否则为“不高”, 其特征函数为

$$\mu(a_{ij}) = \begin{cases} 1 & a_{ij} \geq 95\% \\ 0 & a_{ij} < 95\% \end{cases}$$

则根据这种化学成分的含量圈定的高含量区域 G 为分明区域。给定 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_m, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m \in (0, 1]$, 则 $G_{\lambda_i} = G$ ($i = 1, 2, \dots, m$)。因此, G 在置信水平 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ 下的近似估计 $G(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m) = \{G, G, \dots, G\} = G$ 。

3 模糊叠置分析

栅格图层叠置是将不同属性而又有相同尺寸的栅格单元叠加, 即通过相应栅格单元的数据进行运算来得到另外一个结果图层。栅格的运算通常为与、或、差, 如果在具体应用中进行叠置操作的各个图层具有不同的权重, 则需要采用加权叠置。本文模糊叠置操作的对象为多个 Flou 集, 其得到的结果图层仍为 Flou 集或其近似表示为 Flou 集。

3.1 普通模糊叠置

设所要讨论的栅格单元集合为 U , 两个模糊栅格图层相应的 Flou 集分别为 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}, B = \{B_1, B_2, \dots, B_m\}$ 。叠置结果图层相应的 Flou 集 $C = \{C_1, C_2, \dots, C_m\}$, 则两个栅格图层的叠置操作如下:

a) 与叠置: $C = A \cap B = \{A_1 \cap B_1, A_2 \cap B_2, \dots, A_m \cap B_m\}$, 即 $C_i = A_i \cap B_i, i = 1, 2, \dots, m$ 。

b) 或叠置: $C = A \cup B = \{A_1 \cup B_1, A_2 \cup B_2, \dots, A_m \cup B_m\}$, 即 $C_i = A_i \cup B_i, i = 1, 2, \dots, m$ 。

c) 差叠置: $C = A - B = A \cap B^c = \{A_1 - B_m, A_2 \cap B_{m-1}, \dots, A_m \cap B_1\}$, 即 $C_i = A_i \cap B_i^c, i = 1, 2, \dots, m$ 。

d) 非叠置: $C = U - B = \{B_m^c, B_{m-1}^c, \dots, B_1^c\}$, 即 $C_i = B_{m-i+1}^c, i = 1, 2, \dots, m$ 。

3.2 加权模糊叠置

在 GIS 实际问题中, 各叠置图层对于叠置结果的重要程度通常不尽相同, 其完全相同仅仅是特殊情况。此时, 模糊叠置的操作往往不能用通常的与、或、差来描述, 而必须考虑各叠置图层相应的权重。加权模糊综合是指根据各图层权重对

多个叠置图层进行综合得到的叠置结果。

在此之前,先给出栅格单元集 U 中一点 x 对 U 上的 Flou 集 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ 的隶属度定义。

定义 2 设 $x \in U, A = (A_1, A_2, \dots, A_m)$ 为 U 上的 Flou 集,

则称 $\mu_A(x) = \frac{\sum_{i=1}^m \chi_{A_i}(x)}{m}$, 其中 $\chi_{A_i}(x) = \begin{cases} 0 & x \notin A_i \\ 1 & x \in A_i \end{cases}$ 为 x 对 A 的

隶属度。

定义 2 中 $\mu_A(x)$ 的意义为:

若 $x \in A_1$, 则 $\mu_A(x) = 1$, 表明 x 确定属于 A 。

若 $x \in A_{i+1} - A_i (1 \leq i \leq m-1)$, 则 $\mu_A(x) = \frac{m-i}{m}$ 。因为 $1 \leq$

$i \leq m-1$, 所以 $0 < \mu_A(x) < 1$ 。这说明 x 可能属于 A 。而且, 设 $x_1 \in A_{i+1} - A_i, x_2 \in A_{j+1} - A_j (1 \leq i, j \leq m-1)$, 由于当 $i > j$ 时, $\mu_A(x_1) = \frac{m-i}{m} < \frac{m-j}{m} = \mu_A(x_2)$, 即 $\mu_A(x_1) < \mu_A(x_2)$ 。这说明 $A_{i+1} - A_i$ 比 $A_{j+1} - A_j$ 中的元素更可能属于 A 。

若 $x \in A_m^c$, 则 $\mu_A(x) = 0$, 表明 x 确定不属于 A 。

设 U 上的两个 Flou 集 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}, B = \{B_1, B_2, \dots, B_m\}$ 的隶属函数分别为 $\mu_A(x)$ 和 $\mu_B(x)$, 则 A 和 B 之间相等、包含、并、交、补运算可表示如下:

a) $A = B \Leftrightarrow \mu_A(x) = \mu_B(x), \forall x \in U$

证明略。

b) $A \subseteq B \Leftrightarrow \mu_A(x) \leq \mu_B(x), \forall x \in U$

证明略。

c) $\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x), \forall x \in U$

证明 (a) $\mu_{A \cap B}(x) = 1 \Leftrightarrow x \in A_1 \cap B_1 \Leftrightarrow x \in A_1$ 且 $x \in B_1 \Leftrightarrow \mu_A(x) = 1$ 且 $\mu_B(x) = 1 \Leftrightarrow \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) = 1$ 。

(b) $\mu_{A \cap B}(x) = \frac{m-i}{m} \Leftrightarrow x \in (A_{i+1} \cap B_{i+1}) - (A_i \cap B_i) = A_{i+1}$

$\cap B_{i+1} \cap (A_i^c \cup B_i^c) = [(A_{i+1} - A_i) \cap B_{i+1}] \cup [(B_{i+1} - B_i) \cap A_{i+1}] \Leftrightarrow [x \in (A_{i+1} - A_i) \text{ 且 } x \in B_{i+1}] \cup [x \in (B_{i+1} - B_i) \text{ 且 } x \in A_{i+1}] \Leftrightarrow [\mu_A(x) = \frac{m-i}{m} \text{ 且 } \mu_B(x) \in \{1, \frac{m-1}{m}, \dots, \frac{m-i}{m}\}] \vee$

$[\mu_B(x) = \frac{m-i}{m} \text{ 且 } \mu_A(x) \in \{1, \frac{m-1}{m}, \dots, \frac{m-i}{m}\}] \Leftrightarrow \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) = \frac{m-i}{m}$ 。

(c) $\mu_{A \cap B}(x) = 0 \Leftrightarrow x \in (A_m \cap B_m)^c = A_m^c \cup B_m^c \Leftrightarrow x \in A_m^c$ 或 $x \in B_m^c \Leftrightarrow \mu_A(x) = 0$ 或 $\mu_B(x) = 0 \Leftrightarrow \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) = 0$ 。

由 (a) (b) (c) 可知, $\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x)$ 。

d) $\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x), \forall x \in X$

证明 同 c)。

e) $\mu_{A^c}(x) = 1 - \mu_A(x), \forall x \in X$

证明 (a) $\mu_{A^c}^c(x) = 1 \Leftrightarrow x \in A_m^c \Leftrightarrow \mu_A(x) = 0 \Leftrightarrow 1 - \mu_A(x) = 1$ 。

(b) $\mu_{A^c}^c(x) = \frac{m-i}{m} \Leftrightarrow x \in A_{m-i}^c - A_{m-i+1}^c = A_{m-i+1} - A_{m-i} \Leftrightarrow$

$\mu_A(x) = \frac{m-(m-i)}{m} = \frac{i}{m} \Leftrightarrow 1 - \mu_A(x) = \frac{m-i}{m}$ 。

(c) $\mu_{A^c}^c(x) = 0 \Leftrightarrow x \in (A_1^c)^c = A_1 \Leftrightarrow \mu_A(x) = 1 \Leftrightarrow 1 - \mu_A(x) = 0$ 。

由 (a) (b) (c) 可知, $\mu_{A^c}(x) = 1 - \mu_A(x)$ 。

利用 Flou 集的隶属函数, 两个栅格图层的叠置操作可以

表示如下:

a) 与叠置: $\mu_C(x) = \mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x), x \in U$ 。

b) 或叠置: $\mu_C(x) = \mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x), x \in U$ 。

c) 差叠置: $\mu_C(x) = \mu_{A-B}(x) = \mu_A(x) \wedge (1 - \mu_B(x)), x \in U$ 。

d) 非叠置: $\mu_C(x) = 1 - \mu_A(x), x \in U$ 。

设所要讨论的栅格单元集合为 U , 两个模糊栅格图层相应的 Flou 集分别为 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}, B = \{B_1, B_2, \dots, B_m\}$, 其权重分别为 ω_1, ω_2 , 叠置结果图层相应的 Flou 集 $C = \{C_1, C_2, \dots, C_m\}$, 则其加权与叠置、加权或叠置、加权差叠置以及加权综合叠置如下:

a) 加权与叠置:

$$\mu_C(x) = \begin{cases} \mu_A(x) & \mu_A(x)\omega_2 < \mu_B(x)\omega_1 \\ \mu_B(x) & \mu_A(x)\omega_2 > \mu_B(x)\omega_1 \\ \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) & \mu_A(x)\omega_2 = \mu_B(x)\omega_1 \end{cases}$$

b) 或叠置:

$$\mu_C(x) = \begin{cases} \mu_A(x) & \mu_A(x)\omega_1 > \mu_B(x)\omega_2 \\ \mu_B(x) & \mu_A(x)\omega_1 < \mu_B(x)\omega_2 \\ \mu_A(x) \vee \mu_B(x) & \mu_A(x)\omega_1 = \mu_B(x)\omega_2 \end{cases}$$

c) 加权差叠置:

$$\mu_C(x) = \begin{cases} \mu_A(x) & \mu_A(x)\omega_2 + \mu_B(x)\omega_1 < 1 \\ 1 - \mu_B(x) & \mu_A(x)\omega_2 + \mu_B(x)\omega_1 > 1 \\ \mu_A(x) \wedge (1 - \mu_B(x)) & \mu_A(x)\omega_2 + \mu_B(x)\omega_1 = 1 \end{cases}$$

d) 加权模糊综合:

$$\mu_C(x) = \mu_A(x)\omega_1 + \mu_B(x)\omega_2$$

加权模糊综合得到的 C 不再是一个 Flou 集, 而是一个模糊集, 这时可以取 C 在置信水平 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ 下的近似估计 $C(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m)$ 作为加权模糊综合的结果。

4 算例

在地理信息系统中, 根据降水量数据和温度数据对气候进行分类, 对于模糊概念 A “降水量充足” 和 B “温暖” 的隶属函数分别如下:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 500 \text{ mm} \\ \frac{x-500}{400} & 500 \text{ mm} < x < 900 \text{ mm} \\ 1 & 900 \text{ mm} \leq x \leq 1100 \text{ mm} \\ \frac{1500-x}{400} & 1100 \text{ mm} < x < 1500 \text{ mm} \\ 0 & x \geq 1500 \text{ mm} \end{cases}$$

$$\mu_B(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 16^\circ \text{C} \\ \frac{x-16}{4} & 16^\circ \text{C} < x < 20^\circ \text{C} \\ 1 & 20^\circ \text{C} \leq x \leq 22^\circ \text{C} \\ \frac{26-x}{4} & 22^\circ \text{C} < x < 26^\circ \text{C} \\ 0 & x \geq 26^\circ \text{C} \end{cases}$$

于是得到采样点对模糊概念 A “降水量充足” 和 B “温暖” 的隶属度如表 1 所示。

“降水量充足” 圈定的模糊栅格区域 $\bar{A} = A(0.9, 0.6) = \{\{P_1, P_2, P_4, P_5, P_6, P_{18}\}, \{P_1, P_2, P_4, P_5, P_6, P_7, P_{11}, P_{18}\}\}$ 。

“温暖” 圈定的模糊栅格区域 $\bar{B} = B(0.95, 0.65) = \{\{P_1, P_2, P_{11}, P_{15}\}, \{P_1, P_2, P_3, P_5, P_8, P_{11}, P_{12}, P_{15}\}\}$ 。

表1 降水量和温度数据对模糊概念的隶属度

栅格	降水量/mm	降水量充足程度	温暖/℃	温暖程度
P_1	[958,1052]	[1,1]	[21.6,22.1]	[0.975,1]
P_2	[1080,1116]	[0.96,1]	[21.8,22.2]	[0.95,1]
P_3	[1280,1378]	[0.305,0.55]	[22.1,22.5]	[0.875,0.975]
P_4	[955,1020]	[1,1]	[26.7,27.2]	[0,0]
P_5	[913,998]	[1,1]	[22.8,23.4]	[0.65,0.80]
P_6	[1000,1080]	[1,1]	[24.0,24.5]	[0.375,0.5]
P_7	[1138,1216]	[0.71,0.905]	[21.2,21.8]	[1,1]
P_8	[1198,1286]	[0.535,0.755]	[22.4,23.0]	[0.75,0.9]
P_9	[1244,1368]	[0.33,0.64]	[23.5,23.9]	[0.525,0.625]
P_{10}	[2188,2256]	[0,0]	[25.7,26.2]	[0,0.075]
P_{11}	[744,868]	[0.61,0.92]	[20.7,21.2]	[1,1]
P_{12}	[239,336]	[0,0]	[22.2,22.7]	[0.825,0.95]
P_{13}	[3166,3289]	[0,0]	[10.7,11.4]	[0,0]
P_{14}	[1206,1398]	[0.255,0.735]	[17.5,18.0]	[0.375,0.5]
P_{15}	[332,424]	[0,0]	[21.3,21.9]	[1,1]
P_{16}	[1732,1812]	[0,0]	[16.7,17.2]	[0.175,0.3]
P_{17}	[1256,1372]	[0.32,0.61]	[23.1,23.6]	[0.6,0.725]
P_{18}	[976,1064]	[1,1]	[26.1,26.7]	[0,0]

“亚热带”定义为“降水量充足”且“温暖”,则“亚热带”圈定的模糊栅格区域 $\tilde{C} = \tilde{A} \cap \tilde{B} = \{ \{P_1, P_2\}, \{P_1, P_2, P_5, P_{11}\} \}$ 。

若设 $\tilde{A}, \tilde{B}$ 在叠置结果中的权重分别为 $\frac{2}{3}, \frac{1}{3}$, $\tilde{A}, \tilde{B}$ 的加权模糊与的结果为 $\tilde{C}_1$ (加权情形下,根据与算子“亚热带”圈定的模糊区域),加权模糊综合的结果为 $\tilde{C}_2$ (加权情形下,根据综合算子“亚热带”圈定的模糊区域)。采样点对模糊栅格区域 $\tilde{A}, \tilde{B}$ 和 $\tilde{C}_1, \tilde{C}_2$ 的隶属度如表2所示。

表2 栅格对模糊概念的隶属度

栅格	$\mu_{\tilde{A}}(P_i)$	$\mu_{\tilde{B}}(P_i)$	$\mu_{\tilde{C}_1}(P_i)$	栅格	$\mu_{\tilde{A}}(P_i)$	$\mu_{\tilde{B}}(P_i)$	$\mu_{\tilde{C}_2}(P_i)$
P_1	1	1	1	P_{10}	0	0	0
P_2	1	1	1	P_{11}	$\frac{1}{2}$	1	$\frac{1}{2}$
P_3	0	$\frac{1}{2}$	0	P_{12}	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{6}$
P_4	1	0	0	P_{13}	0	0	0
P_5	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	P_{14}	0	0	0
P_6	1	0	0	P_{15}	0	1	$\frac{1}{3}$
P_7	$\frac{1}{2}$	0	0	P_{16}	0	0	0
P_8	0	$\frac{1}{2}$	0	P_{17}	0	0	0
P_9	0	0	0	P_{18}	1	0	$\frac{2}{3}$

于是 $\tilde{C}_1 = \{ \{P_1, P_2\}, \{P_1, P_2, P_5, P_{11}\} \}$ 。

取 $\tilde{C}_2$ 在置信水平 $(\frac{2}{3}, \frac{1}{3})$ 下的近似估计 $\tilde{C}_2 = \tilde{C}_2(\frac{2}{3}, \frac{1}{3})$ 作为加权模糊综合的结果,则 $\tilde{C}_2 = \tilde{C}_2(\frac{2}{3}, \frac{1}{3}) = \{ \{P_1, P_2, P_4, P_5, P_6, P_{18}\}, \{P_1, P_2, P_4, P_5, P_6, P_7, P_{11}, P_{15}, P_{18}\} \}$ 。

5 结束语

空间数据由于受到属性值之间分布变化的渐进性、属性分类定义的不一致性等因素的影响,往往带有模糊性。空间对象的概念化也会导致空间区域的模糊性。已有的工作大都利用模糊集处理空间对象的模糊性,这种方法在分析和处理模糊对象和其他空间对象的各种关系时,常常涉及截集水平的遍历性,运算复杂,以至于难以求解。为了解决这一问题,本文用Flou集描述由模糊概念和不确定数据圈定的模糊区域,人们可

以根据一定的精度要求选择区域的范围。然后,为了分析两个Flou集表示的模糊栅格图层的叠置问题,定义了空间栅格对Flou区域的隶属度,给出了一种基于Flou集的模糊叠置分析模型,可以实现普通模糊叠置和加权模糊叠置,叠置的结果符合人们的认识和推理规律。实例表明,该模糊集能够有效地解决模糊栅格图层的叠置问题,在基于GIS的应用领域具有一定的实用价值。

参考文献:

- [1] JIAO Sheng, GAO Ming, WEI Chun-yu, et al. Ecological suitability evaluation for urba growth boundary in red soil hilly areas based on fuzzy theory[J]. *Journal of Central South University of Technology*, 2012, 19(5): 1364-1369.
- [2] ZOU J, ZHOU Q, LIU J, et al. A study of functional planning of groundwater nitrate content using GIS and fuzzy clustering analysis[J]. *Sensor Letters*, 2012, 10(2): 541-549.
- [3] YASINE C, ADEL G. PV site suitability analysis using GIS-based spatial fuzzy multi-criteria evaluation[J]. *Renewable Energy*, 2011, 36(9): 2554-2561.
- [4] ZHAO Xue-sheng, CHEN Jun, WANG Jin-zhuang. Overlay generalization of polygons based on fuzzy-Voronoi[J]. *Journal of China University of Mining of Technology*, 2000, 10(2): 120-125.
- [5] 陈述彭, 鲁学军, 周成虎. 地理信息系统导论[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [6] 黄波, 徐冠华, 阎守邕. GIS中空间模糊叠加设计[J]. *测绘学报*, 1996, 25(1): 53-56.
- [7] JIANG B, KAINZ W. Fuzzy overlay analysis with linguistic degree terms[C]//KRAAK M J, MOLENAAR M. *Advances in GIS Research II: Proc of the 7th International Symposium on Spatial Data Handling*. London: Taylor & Francis, 1996: 301-318.
- [8] URBANSKI J. The use of fuzzy sets in the evaluation of the environment of coastal waters[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 1999, 13(7): 723-730.
- [9] STEFANAKIS E, VAZIRGIANNIS M, SELLIS T. Incorporating fuzzy set methodologies in a DBMS repository for the application domain of GIS[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 1999, 13(7): 657-675.
- [10] 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.
- [11] GENTHOMME Y. Les ensembles flous en linguistique[J]. *Eahiers Linguistiques Theor Appl*, 1968(5): 47-63.
- [12] DUBIOS D, PRADE H. Fundamentals of fuzzy sets[M]//The Handbooks of Fuzzy Sets Series. London: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [13] 李红霞, 刘坤. Flou σ -代数与 Flou 可测映射[J]. *数学教学与研究*, 2009, 28(2): 49-50.
- [14] 李红霞, 刘坤. Flou 集与区间值模糊集[J]. *数学教学与研究*, 2009, 28(1): 58-59.
- [15] KANDIL A. On Flou (intuitionistic) topological spaces[J]. *The Journal of Fuzzy Mathematics*, 2007, 15(2): 471-492.
- [16] ETIENNE E K. 模糊集理论与近似推理[M]. 黄崇福, 阮达, 译. 武汉: 武汉大学出版社, 2004.
- [17] 吴德胜, 虞强源. 一种基于褶集的模糊区域可视化模型[J]. *系统仿真学报*, 2006, 18(1): 340-346.