

遥感影像中模糊对象表达

王佐成^{1,2)} 李永树¹⁾ 薛丽霞^{1,2)} 汪林林²⁾

¹⁾(西南交通大学测量工程系, 成都 610031) ²⁾(重庆邮电大学软件学院, 重庆 400065)

摘要 遥感影像中的空间对象及其边界具有模糊性。针对遥感影像中模糊对象的表现特征,借助云理论和云模型来对模糊对象进行表达研究。基于影像的灰度和梯度等数字特征,构建基于数字图像的对象云,用对象云表达模糊对象,核外半云环表达其边界,从而用模糊数学的方法来合理表达遥感影像模糊对象,最后以遥感影像为例进行验证。该方法不仅丰富和完善了云理论,同时也为模糊对象表达,遥感影像的理解和分析提供了一种新的思路。

关键词 遥感影像 云理论 模糊对象 对象云 半云环

中图分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2007)11-2081-05

Representation of Fuzzy Objects in the Remote Sensing Image

WANG Zuo-cheng^{1,2)}, LI Yong-shu¹⁾, XUE Li-xia^{1,2)}, WANG Lin-lin²⁾

¹⁾(Engineering Department of Surveying, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031)

²⁾(Software Institute, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065)

Abstract The spatial object and its edge in the RS image possess fuzzy character. Based on the features of fuzzy objects in the image and the cloud theory, the paper studies the representation of fuzzy objects in image. By the gray and gradient or other digital characters of the image, we can construct a spatial object cloud. The fuzzy spatial object can be represented by the object cloud. The edge of the spatial object can be represented by half cloud ring. So fuzzy objects in the RS image can be represented based on the fuzzy mathematics cloud model properly. Experimental results show that the method is both efficient and effective. It enriches the cloud theory, and proposes a new idea for the representation of the fuzzy object and image comprehending and analyzing, especially the remote sensing image.

Keywords remote sensing image, cloud theory, fuzzy object, object cloud, half cloud ring

1 引言

在GIS与遥感领域中,人们对空间对象的模糊性建立了较多处理模型与方法。然而,到目前为止尚未有完整的理论体系用于处理空间对象的模糊性^[1]。概率论、证据理论、模糊数学等方法都能够从某一个方面处理空间对象的模糊性^[2,3]。Altman利用2维模糊集理论给出模糊区域的定义^[4],Wang等人提出用模糊关系数据模型改进常规的GIS系统^[5],Robinson利用模糊集表示通常由定性语言描述的空间关系^[6]。在这些研究中,作为处理模糊性

问题的主要工具,模糊集理论提出了隶属度的概念来刻画模糊对象的亦此亦彼性。然而,一旦用一个精确的隶属函数来描述模糊集,模糊概念就被强行纳入到精确数学的王国,从此以后,在概念的定义、定理的叙述及证明等数学思维环节中,就不再有丝毫的模糊性了,这正是传统模糊集理论的不彻底性。

云理论是在传统模糊集理论和概率统计基础上建立的一种处理不确定性问题的新理论,能够解决传统模糊集理论的不足。在遥感影像中,模糊对象的表达不仅涉及对象专题属性的模糊性,并且也必须考虑几何特征的模糊性。云模型能够将专题属性和几何特征的模糊性同时考虑进来,取得遥感影像

基金项目:重庆市教育委员会科学技术研究项目(KJ060511)

收稿日期:2006-07-17;改回日期:2006-08-28

第一作者简介:王佐成(1973~),男,副教授。于西南交通大学获地理信息工程专业博士学位。主要研究方向为数字图像处理、空间数据库及空间数据挖掘。E-mail: cswangzc@163.com

中模糊对象的合理表达,从对象或者景观层面对遥感影像进行表达及理解,能够取得更好的效果。因此,本文提出采用云理论来对遥感影像中的模糊对象进行表达。

2 遥感影像中空间对象模糊性分析

遥感影像中空间对象的模糊性主要集中在以下几个方面^[7]:

(1) 空间对象的空间位置 $O(x, y, z)$;

(2) 两个空间对象 O_1 和 O_2 的关系 $R(O_1, O_2)$ 或者边界特性;

(3) 一个像素点对于一个空间对象(集合)的归属关系 $p \in M$ (像素 p 属于集合 M)。

问题1中的 $O(x, y, z)$ 表示了一个空间对象的几何描述方面,需要讨论其空间位置;问题2需要讨论两个对象 O_1 和 O_2 的空间关系;问题3需要考虑空间对象定义的模糊空间域、属性域、时间域或者频谱域。

3 云模型表达空间对象

针对遥感影像中的空间对象模糊性,云模型给我们提出了一个新的表达遥感影像中的模糊空间对

象的思路,采用隶属度刻画论域中各元素与其核心概念的远近关系,隶属度越大,元素越接近概念核心^[8]。在遥感影像中,影像边缘可以看作是一条灰度异常带,带内点的梯度幅值要明显大于其邻域点,具有较高的灰度跳变。在边缘带内部,边缘中心与其周围像素相比其灰度也有较大差别,离边缘中心距离越远,这种差异越大。这种相似性使得云理论的基本思想及云模型方法有可能被运用到图像模糊对象表达中,这将是一种新的尝试。

结合云模型,采用对象云作为空间中的模糊对象表达模型,通过模糊对象的数字特征,构建其云模型,称为对象云,包括线对象云、面对象云和点对象云。影像中模糊线对象 $L(Ex_1, En, He)$ 用3个参数表达^[9],其中, Ex_1 是线云的核,即期望值, En 、 He 分别为线云的熵及超熵,云核是一条直线或曲线(如图1(a));模糊面对象用 $P(Ex_p, En, He)$ 表示(如图1(b)),核多边形 Ex_p 在 x - y 平面上的投影是一个多边形,在核多边形内部,隶属度均为1,在核多边形 Ex_p 外部,依点到多边形的距离呈半正态云,构成了一个“半云环”。当 Ex_p 退化为一小时,即变为模糊点对象(如图1(c))。模糊线和模糊点对象都可以通过对模糊面对象的表达进行特化,因此本文主要研究模糊面对象表达。

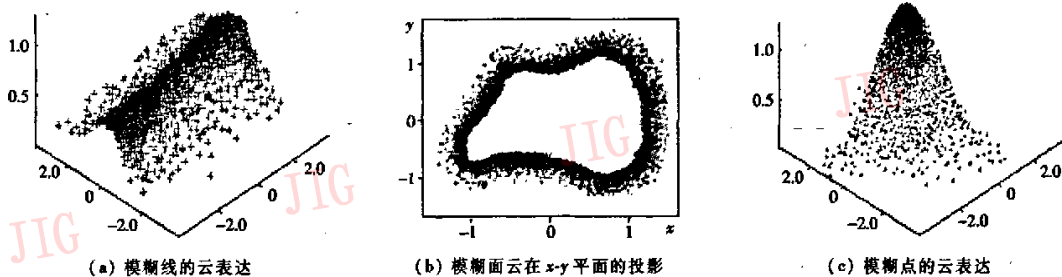


图1 模糊对象的云

Fig.1 Cloud of fuzzy object

4 基于对象云的模糊对象表达

对象云的生成是表达遥感影像中空间模糊对象的前提,根据云理论的观点,用云核及核外半云环来表达模糊面对象。

4.1 云核的生成

考虑到表达算法的复杂性,采用并行区域分割技术中的迭代阈值化算法来生成云核^[10,11]。算法

仅考虑各像素本身灰度值而确定,较为简单快速,虽然该方法抗噪声能力不强,但是通过该算法后期的云运算可以一定程度上抑制噪声的影响。

首先取图像灰度范围的中值作为初始阈值 T_i (设共有 L 个灰度),然后按下式进行迭代:

$$T_{i+1} = \frac{1}{2} \left\{ \frac{\sum_{k=0}^{T_i} h_k \cdot k}{\sum_{k=0}^{T_i} h_k} + \frac{\sum_{k=T_{i+1}}^{L-1} h_k \cdot k}{\sum_{k=T_{i+1}}^{L-1} h_k} \right\} \quad (1)$$

其中, h_k 是灰度为 k 值的像素个数, 迭代一直进行到 $T_{i+1} = T_i$ 结束, 取结束时的 T_i 为分割阈值。最终结果产生满足条件的 2 维论域云核。由于图像中存在各种干扰因素, 在生成 2 维论域云核的过程中可能存在一个面元同时生成多个“核”的情况, 为了避免论域被过多分割, 采用云核合并进行综合。被综合云需满足如下条件: (1) 所有子云的“核”应具有相似的灰度分布; (2) 子云之间的距离应尽量小, 可设定一阈值来约束。

设 2 维论域 $U\{(x, y)\}$ 上有 R 朵云 $A_i (Ex_i, En_i, He_i), i = 1, 2, \dots, R; j = 1, 2, \dots, R; MEC_{A_i}(x), MEC_{A_j}(x)$ 为 A_i 和 A_j 的期望曲线方程^[9], 令

$$MEC'_{A_i}(x) = \begin{cases} MEC_{A_i}(x) & \text{当 } MEC_{A_i}(x) \geq MEC_{A_j}(x) \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

$$MEC'_{A_j}(x) = \begin{cases} MEC_{A_j}(x) & \text{当 } MEC_{A_j}(x) \geq MEC_{A_i}(x) \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} En'_i = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{En'_i} MEC'_{A_i}(x) dx \\ En'_j = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{En'_j} MEC'_{A_j}(x) dx \end{cases} \quad (3)$$

式中, $MEC'_{A_i}(x)$ 和 $MEC'_{A_j}(x)$ 是 $MEC_{A_i}(x)$ 和 $MEC_{A_j}(x)$ 的不重叠部分, En'_i 和 En'_j 为截断熵。

则其综合云的数字特征为

$$\begin{cases} Ex_p = \sum_{i=1}^R Ex_i \\ En = \sum_{i=1}^R En'_i \\ He = \sum_{i=1}^R \frac{He_i En'_i}{En'_i} \end{cases} \quad (4)$$

4.2 对象云滴数字特征获取

设 2 维论域的两维之间不相关, 2 维正态云可以用 6 个数字特征量来描述: $(Ex, Enx, Hx, Ey, Eny, Hy)$ 。其中, Ex 和 Ey 为期望值, Enx 和 Eny 为熵, Hx 和 Hy 为超熵。 (Ex, Ey) 是 2 维云表示的概念在论域中的中心值。根据生成的 2 维论域, 可以借助图像像素灰度值来计算隶属度 u , u 越大, 表明该像素点隶属于该 2 维论域的可能性越大。图像灰度值的显著变化可以用梯度来表示, 对一个连续图像函数 $f(x, y)$, 它在位置 (x, y) 的梯度可表示为一个矢量(其中, G_x 和 G_y 分别为沿 x 方向和 y 方向的梯度):

$$\nabla f(x, y) = [G_x, G_y]^T = \left[\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y} \right]^T \quad (5)$$

本研究中采用该梯度矢量作为各像素点的隶属度 u_i , 既考虑到灰度信息, 又能够将灰度变化信息纳入, 同时通过小区域模板进行卷积来近似对每个像素位置进行计算获取梯度的运算量相对不大。通过遍历图像所有点, 得到图像每个像素点的云数字特征 (x_i, y_i, u_i) , 称具有了云数字特征的像素点为云滴, 在遥感影像上构成各个对象的云滴称为对象云滴。基于对象云滴, 采用 2 维逆向云发生器获取对象云的数字特征 $(Ex, Enx, Hx, Ey, Eny, Hy)$, 算法如下:

- (1) $Ex = \text{mean}(x_i), Ey = \text{mean}(y_i)$, 其中, $\text{mean}()$ 为求均值函数。
- (2) $Enx = \text{stdev}(x_i), Eny = \text{stdev}(y_i)$, 其中, $\text{stdev}()$ 为求标准差函数。
- (3) 从样本中选取 $y = Ey \pm 3Eny$ 的云滴 (x_i, y_i, u_i) , 计算

$$Enx'_j = \sqrt{\frac{-(x_j - Ex)^2}{2 \ln(u_j)}}, Hx = \text{stdev}(Enx'_j)$$

- (4) 从样本中选取 $x = Ex \pm 3Enx$ 的云滴 (x_k, y_k, u_k) , 计算

$$Eny'_k = \sqrt{\frac{-(y_k - Ey)^2}{2 \ln(u_k)}}, Hy = \text{stdev}(Eny'_k)$$

4.3 核外半云环的生成

模糊对象的边界部分构成一个半降云, 称之为核外半云环。对获取的对象云分别实施“软与”运算^[12], 可以产生的核外半云环 $C(\text{Line}, En, He)$, 垂线方向为 1 维正态云 $D(Ex_c, En_c, He_c)$, 如图 2 所示。其数学期望曲线 MEC 为

$$MEC_A(x) = \exp\left[-\frac{(x - Ex_c)^2}{2En_c^2}\right] \quad (6)$$

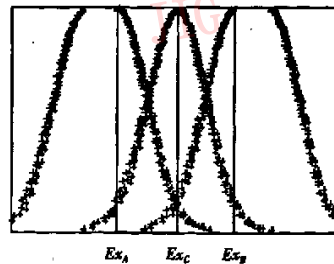


图 2 虚拟云

Fig. 2 Virtual cloud

数字特征为

$$\begin{cases} Ex_c \cong \frac{1}{2} |(Ex_A - 3En_A) + (Ex_B + 3En_B)| \\ En_c \cong \frac{1}{6} |(Ex_B + 3En_B) - (Ex_A - 3En_A)| \\ He_c = Max(He_A, He_B) \end{cases} \quad (7)$$

借助 2 维论域云核以及对象边界“半云环”的数字特征,可以实现对空间模糊面对象云表达。空间对象通常不单独存在,面对象云不仅可以对单个

模糊面进行表达,同时也可以推广到对多个模糊面进行表达。

5 实例与验证

通过选择 1 幅土地利用遥感影像作为分析对象,提取其中的不确定面的云表达,影像如图 3(a)所示。



(a) 原始影像

(b) 合并前云图

(c) 云合并后云图

图 3 航空影像中对象云生成

Fig.3 Object cloud construction based on RS image

实例中使用 600 × 445 像素大小的 1 幅单波段航空影像,由于该影像内容相对复杂,加上噪声的干扰,通过本文算法得到 1 200 个云核,如图 3(b)所示,云合并后,提取到 250 个完整的云模型数字特征,如图 3(c)所示。表 1 列出了部分对象云表达的模糊对象的数字特征。

表 1 对象云数字特征

Tab.1 Digital character of object cloud

Cloud ID	Ex	Enx	Hx	Ey	Eny	Hy
29	205	5	0.010	220	6	0.017
30	230	5	0.024	350	4	0.024
31	235	6	0.022	401	7	0.017
32	320	7	0.010	12	3	0.027
33	355	2	0.020	52	3	0.025
34	389	6	0.027	413	6	0.029

6 结 论

将云理论和云模型引入遥感影像中模糊对象表达是对云理论的一种新的应用拓展,同时也为遥感影像中的模糊对象表达提供了一个新的思路。表达方法分 3 步进行:(1)根据影像数字特征生成 2 维

论域云核,经过云核合并,得到模糊对象对应的云核;(2)根据生成的 2 维论域,构建云隶属度数字特征,得到对象云;(3)通过“软与”运算,产生核外半云环 $C(Line, En, He)$ 。云核、对象云及核外半云环构成了表达遥感影像中模糊对象的基本单元。该方法通过实验验证,能够将遥感图像中的模糊对象合理表达,具有如下优点:

(1) 云模型表达模糊对象时,用期望值 Ex 、熵 En 、超熵 He 3 个数字特征来表达,把模糊性(定性概念的亦此亦彼性)和随机性(隶属度的随机性)完全集成到一起,构成定性和定量相互间的映射,作为模糊对象表达的基础,克服了传统模糊集理论的不彻底性。

(2) 模糊集方法采用 2 维模糊集定义模糊对象增强了其语义表达能力,使其更适合于对模糊对象建模,然而却未能给出所表达的模糊对象的关系运算,给模糊对象的进一步分析和处理带来了困难。基于云模型所表达的模糊对象借助云代数运算、逻辑运算和语气运算等能够高效完成对象的关系运算。

(3) 2 维对象云模型表达模糊空间对象时,云核数字特征能够表达出模糊对象专题属性,核外边界云能够表达模糊对象的几何特征,这样解决了大

多数研究工作中出现的对象专题属性和几何特征的模糊性是分开讨论,而在实际的对象表达中这两者是紧密相关的问题。

(4) 利用 2 维对象云的数字特征, E_x 和 E_n 相结合能够表达出对象的空间位置的模糊性。

(5) 2 维对象云模型能够高效表达模糊面之间的拓扑关系。借助云模型的虚拟云计算方法^[9], 能够表达两个模糊对象的各种拓扑关系, 甚至推广到多个对象间的关系运算。

对于空间模糊对象的云表达, 下一步的工作是对模糊空间推理、模糊空间查询以及模糊空间分析等方面进行深入研究, 从而增强 GIS 在模糊空间领域的建模和分析功能。

参考文献 (References)

- Hermann P D, Khazenic N. Classification of multispectral remote sensing data using a back-propagation neural network [J]. IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing, 1992, 30(1): 81-88.
- Wang F J, Hall G B, Subaryono. Fuzzy information representation and processing in conventional GIS software: database design and application[J]. Geographical Information Systems, 1990, 4(3): 261-283.
- Ho K H L. Fuzzy edge detection by fuzzy categorization and classification of edges [A]. In: International Joint Conference on Artificial Intelligence Workshop [C], Montreal Quebec, Canada, 1995: 182-196.
- David Altman. Fuzzy set theoretic approaches for handling imprecision in apatial analysis [J]. Geographical Information Science, 1994, 8(3): 271-289.
- Wang F J. Towards a natural language user interface: an approach of fuzzy query [J]. Geographical Information Systems, 1994, 8(2): 143-162.
- Robinson V H. Interactive mechanic acquisition of a fuzzy apatial relation [J]. Computer & Geosciences, 1990, 16(3): 857-872.
- Wang F J. Improving remote sensing image analysis through fuzzy information representation [J]. Photogram Eng Remote Sensing, 1990, 56(8): 1163-1169.
- Li De-ren, Di Kai-chang, Li De-yi. Knowledge representation and uncertainty reasoning in GIS based on cloud models [A]. In: The 9th International Symposium on Spatial Data Handling [C], Beijing, China, 2000: 1-12.
- Li De-yi, Shi Xue-mei, Meng Hai-jun. Membership clouds and cloud generators [J]. The Research and Development of Computers, 1995, 42(8): 32-41.
- Zhang Yu-jin. Image Segmentation [M]. Beijing: Science Press, 2001. [章毓晋. 图象分割 [M]. 北京: 科学出版社, 2001.]
- Foley J D, Dam Avan, Feiner S K, et al. Computer Graphics: Principles and Practice, Second Edition [M]. Boston, MA, USA: Addison-Wesley, 1990.
- Di Kai-chang. Spatial Data Mining and Knowledge Discovery [M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2001. [邸凯昌. 空间数据挖掘与知识发现 [M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2001.]