

文章编号:1000-582X(2007)06-0089-04

基于云模型的图像面状地物表达分析

王佐成^{1,2},汪林林¹,薛丽霞^{1,2},李永树²

(1. 重庆邮电大学 软件学院,重庆 400065;2. 西南交通大学 测量工程系,四川 成都 610031)

摘要:针对图像处理中需要对分割区域进行表达的问题,在云理论上,提出对象云表达图像面状地物的方法。在图像二维论域中,不确定边界的面状地物可以借助松弛迭代法提取其定性语言值表达特征,作为云模型的云核部分。对于不确定边界过渡区域,根据其像素特征获取云模型的云滴,借助逆向云发生器,生成图像面状地物的对象云。这样,对象云作为图像面状地物表达模型,不确定边界的面状地物就可以通过对象云的数字特征来表达。最后以遥感图像为例证明了该方法能够很好地表达图像中面状地物。

关键词:云理论;遥感图像;空间不确定面;对象云

中图分类号:TP391.41

文献标志码:A

图像处理一项重要任务就是把图像分成各具特性的区域并提取出感兴趣的目标。如何将这些区域表达出来成为图像处理的一项重要研究。在图像中,特别是遥感图像中,区域实际上是面状地物特征的表象。空间中面状地物具有位置不确定性与属性不确定性,其边界并非总是几何意义上的线,而是具有一定宽度的过渡区域,边界过渡区域的属性也具有亦此亦彼的特性。这些不确定性反映在图像上增加了图像处理的复杂性,成为区域表达的难点,也是该领域长期研究的热点。在现有的研究方法中,较多采用概率论和数理统计、模糊集、粗集理论等方法^[1]。但是,概率论和数理统计具有“硬计算”的不足^[2],模糊集的隶属函数固有不彻底性^[3-4],粗集有其局限性^[5]。

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。在语言值表示的定性概念与其定量表示之间建立起相互映射关系,解决了模糊理论的不彻底性,为空间数据不确定性表达指出了新的思路^[6]。云理论以研究定性定量间的不确定性转换为基础包括云模型、虚云、云运算、云变换、不确定性推理等内容^[7]。云理论采用隶属度刻画

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。这与图像中不确定面的过渡区域具有一致的特性,因此可以基于云理论,采用对象云来表达面状地物。借助云模型的边界不确定性表达特点,对面状地物进行合理表达。

1 对象云的提出

面状地物对象根据其数字特征都可以用云模型来建模表达,称其为对象云。不确定线即线云 $L(E_{xl}, E_n, H_c)$ 用3个参数表达,其中 E_{xl} 是线云的核,即期望值, E_n, H_c 分别为线云的熵及超熵,云核是一条直线或曲线;不确定面即面云用 $P(E_{xp}, E_n, H_c)$ 表示,核多边形 E_{xp} 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 E_{xp} 外部,依点到多边形的距离呈半正态云,见图1。当 E_{xp} 退化为一小时,即变为不确定点,用点云表达。不确定线和不确定点可以看作面状对象云的特例,因此主要研究对象云。

对象云的生成是表达空间不确定对象的前提。对于遥感图像中的面状地物,可将灰度统计特征作为一致性测度,采用概率松弛法生成云核构成二维论域,然后经过

收稿日期:2007-02-06。

基金项目:重庆市教育委员会科学技术研究资助项目(KJ060511)。

作者简介:王佐成(1973-),男,重庆邮电大学,副教授,博士生,主要研究方向为空间数据库及空间数据挖掘,数字图像处理(Tel)023-62487647;(E-mail) cswangzc@163.com。

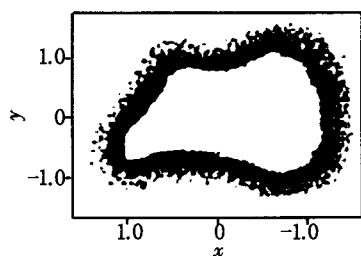


图1 云在 $x-y$ 平面的投影

逆向云发生器获得对象云数字特征从而生成对象云。

2 对象云的生成

2.1 二维论域(云核)的生成

在二维图像中,面状地物在二维方向表现其特性,我们在云模型中用二维论域语言值表达。获取这二维论域语言值 E_{xp} 可以采用松弛迭代法,采用灰度统计特征作为一致性测度^[8-9]。设有待处理图像中有 N 个像素,原始集合为 $S = \{s_1, s_2, \dots, s_N\}$,将其分为 M 类,得结果集 $C = \{C_1, C_2, \dots, C_M\}$ 。定义 $p_{ij}^{(0)}$ 为 $s_i \in C_j (1 \leq i \leq N, 1 \leq j \leq M)$ 的初始概率, $p_{ij}^{(r)}$ ($r = 1, 2, \dots$) 为逐次迭代概率, q_{ij} 为 p_{ij} 的增量。兼容性指每一对相邻像素之间的某种关系,例如对 $s_i \in C_j$ 和 $s_k \in C_l (1 \leq i \leq N, 1 \leq k \leq N; 1 \leq j \leq M, 1 \leq l \leq M)$ 有兼容性 $P(i, j; k, l)$ 。在 $P(i, j; k, l)$ 中对于每个 i 有 $0 \leq p_{ij}^{(0)} \leq 1, \sum_{j=1}^M p_{ij}^{(0)} = 1$, 则

$$\left. \begin{aligned} q_{ij} &= \sum_{j=1}^M P(i, j; k, l) p_{kl} \\ p_{j=1}^{(r+1)} &= \frac{p_{ij}^{(r)} [1 + q_{ij}^{(r)}]}{\sum_{j=1}^M p_{ij}^{(r)} [1 + q_{ij}^{(r)}]} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中

$$q_{ij}^{(r)} = \frac{1}{n-1} \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^N \left[\sum_{l=1}^M P(i, j; k, l) p_{kl}^{(r)} \right];$$

$$P(i, j; k, l) = \begin{cases} 0 & \text{像素点不在其8邻域中,} \\ 1 & \text{符合兼容性,} \\ -1 & \text{不符合兼容性,} \\ 2 & \text{不确定.} \end{cases}$$

在每一次迭代过程中,对各个像素的灰度都进行加权调整,设定一个阈值以确定迭代是否达到预期目标,并在达到时认为迭代收敛,终止算法,最终结果产生满足条件的二维论域云核。

由于图像中存在各种干扰因素,在生成二维论域云核的过程中可能存在一个面状地物被分割成多个云核的情况,为了避免论域被过多分割,可以采用云核合

并方法综合云核。满足如下条件的子云将被综合:1)所有子云的“核”具有相似的灰度分布;2)子云核之间的距离小于给定的阈值。

2.2 云滴数字特征的获取

图像中面状地物不确定边界是由过渡区域构成,过渡区中的每个像素对应对象云的云滴,一个云滴是二维论域在数量上的一次实现,多个云滴反映了二维论域的具有不确定性的基本特征。过渡区像素的数字特征可以作为计算对象云的云滴数字特征的基础。

根据生成的二维论域,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二维论域的可能性越大。在图像数字特征表达中,梯度矢量来自于灰度特征,同时反映了灰度的变化情况,因此本研究中我们可以采用梯度矢量作为各像素点的隶属度 u_i 。

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:

$$\nabla f(x, y) = [G_x, G_y]^T = \left[\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y} \right]^T, \quad (2)$$

其中 G_x 和 G_y 分别为沿 x 方向和 y 方向的梯度。这个矢量的幅度(梯度)和方向角分别为:

$$|\nabla f| = \text{mag}(\nabla f) = (G_x^2 + G_y^2)^{\frac{1}{2}}, \quad (3)$$

$$\varphi(x, y) = \arctan(G_y / G_x). \quad (4)$$

在实际中,常用小区域模板进行卷积来近似对每个像素位置计算获取梯度。对 G_x 和 G_y 须各用一个模板,所以需要两个模板组合起来构成一个梯度算子。人们已经提出许多种不同的算子^[8],例如 Roberts、Prewitt、Sobel 算子等,采用不同的模板,算子运算时将模板在图像上移动并在每个位置计算对应中心像素的梯度值 G_x 和 G_y ,构成梯度矢量 ∇f ,以此作为各像素点的隶属度,从而获得云滴数字特征 (x_i, y_i, u_i) 。

3 面状地物的云表达

图像面状地物是基于二维表现,通过获取的二维论域和云滴,借助二维对象云来表达。设二维论域二维之间不相关,二维对象云可以用6个数字特征量来描述: $(E_x, E_{nx}, H_x, E_y, E_{ny}, H_y)$ 。其中 E_x 和 E_y 为期望值, E_{nx} 和 E_{ny} 为熵, H_x 和 H_y 为超熵。 (E_x, E_y) 是二维云表示的概念在论域中的中心值。

在已知的云滴 (x_i, y_i, u_i) 的基础上,采用二维逆向云发生器获取对象云的数字特征^[7],算法如下:

$$E_x = \text{mean}(x_i), E_y = \text{mean}(y_i); \quad (5)$$

$$E_{nx} = \text{stdev}(x_i), E_{ny} = \text{stdev}(y_i); \quad (6)$$

从样本中选取 $y = E_y + 3E_{ny}$ 的云滴 (x_j, y_j, u_j) , 计算

$$E_{nx'_j} = \sqrt{\frac{-(x_j - E_x)^2}{2\ln(u_j)}}, H_x = \text{stdev}(E_{nx'_i}); \quad (7)$$

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

$$E_{ny'_k} = \sqrt{\frac{-(y_k - E_y)^2}{2\ln(u_k)}}, H_y = \text{stdev}(E_{ny'_k}). \quad (8)$$

其中 $\text{mean}()$ 、 $\text{stdev}()$ 分别为求均值和标准差的函数。

这样,图像中面状地物都可以通过二维论域所形成的对象云的数字特征表达出来,每个面状地物对应一组数字特征 $(E_x, E_{nx}, H_x, E_y, E_{ny}, H_y)$ 。考虑到面状地物对应的二维论域的模糊性和随机性,这组数字特征所构成的对象云将二者完全集成到一起,构成不确定面状地物的表达模型。其中熵是地物对象概念模糊度的度量,一方面,反映了在论域中可被这个概念所接受的数值范围,体现了定性概念亦此亦彼的裕度;另一方面,还反映了在数域空间中的点能够代表这个概念的概率,表示定性概念的云滴出现的随机性。超熵是熵的熵,反映了云滴的离散程度,体现了在数域空间代表该地物对象概念的所有点的不确定度的凝聚性,其大小间接表达了云的离散度和厚度,超熵越大,云滴离散程度越大,隶属度的随机性越大,云的厚度也越大。图 2 表示了二个面状地物二维对象云横剖面。从剖面图上可以直观看出云模型表达出的两面状地物不确定过渡区。

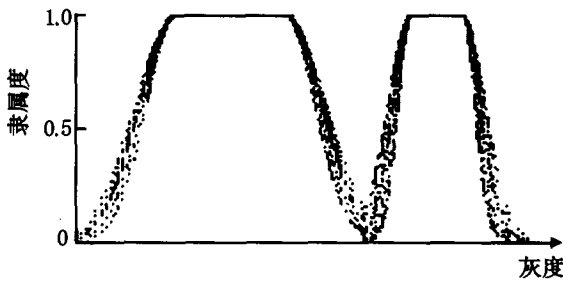


图 2 面状地物对象云横剖面

在图像上,空间对象通常不单独存在,面对象云不仅可以对单个不确定面进行表达,也可以推广到多个不确定面进行表达。

4 实例与验证

通过选择一幅全色 QuickBird 影像对我们算法进行验证,如图 3(a)。图 3(b)是经过图像分类处理后的地物分类区域,笔者对其中分类准确度较高的林地和草地分类区域进行对象云表达。

由于该影像内容相对复杂,加上噪声的干扰,通过笔者的算法得林地和草地的对象云 369 个,对象云晕

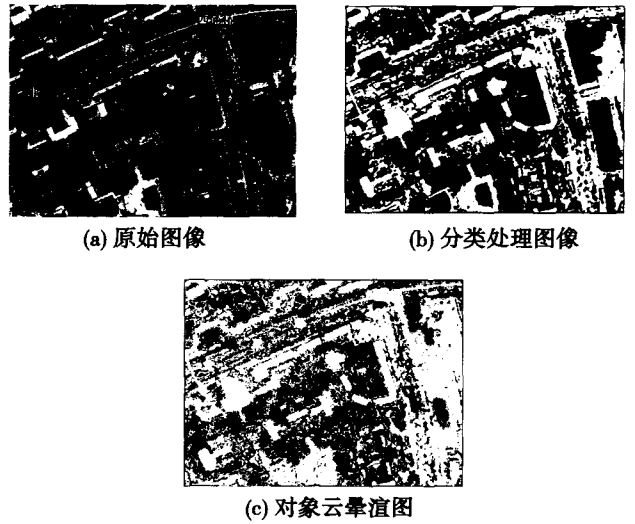


图 3 航空影像中对象云生成

渲图如图 3(c)所示。表 1 列出了部分对象云表达的面状地物的数字特征。

表 1 对象云数字特征

Cloud ID	E_x	E_{nx}	H_x	E_y	E_{ny}	H_y
12	214	28.1	6.9	210	28.7	7.4
13	147	29.4	7.9	198	30.1	7.9
14	51	31.7	9.1	174	27.9	8.9
15	58	28.4	9.3	12	28.3	8.6
16	46	25.1	8.4	14	26.3	9.0
17	214	28.7	8.7	13	27.9	8.9
18	54	27.9	9.1	60	28.1	9.4
19	58	26.7	8.3	97	26.0	7.9
20	71	29.7	9.4	180	30.7	9.9
21	46	32.8	8.1	126	32.4	8.4
...

表中每一数字特征矢量都能够完整刻画出图像中的不确定面状地物,其中,期望值 E_x 表达概念在论域中的中心值,是最能代表这个面状地物概念的值;熵 E_n 是定性概念模糊度的度量,反映在论域中可被这个面状地物概念接受的数值范围,体现了定性概念亦此亦彼的裕度;超熵 H_x 反映了隶属度的随机性大小,表现云滴的离散程度。而在模糊集理论表达中,模糊集方法采用二维模糊集定义模糊对象,增强了其语义表达能力,使其更适用于对模糊对象建模,依据模糊集理论采用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^[10],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。因此,基于云理论的表达方法与模糊集理论相比,克服了传统模糊集的局限性。

同时,基于云模型所表达的图像中不确定面状地物能够方便地进行图像后续处理工作:借助云代数运算、逻辑运算和语气运算等能够高效完成图像中对象的关系运算;借助云模型的虚拟云计算方法^[6],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。

5 结论

提出了一种新的图像面状地物的表达方法——基于云模型的面状地物表达方法。在云理论和云模型基础上,提出对象云的概念及其数字特征的获取方法,据此基于图像数字特征进行面状地物的对象云表达:首先,基于图像像素灰度借助概率松弛法生成云核,通过云核合并等过程,得到合理的二维论域。然后借助逆向云发生器逆向生成对象云的数字特征,结合二维论域,构成完整的对象云表达。该方法通过试验验证,能够将图像的模糊和随机性完全集成到一起,构成定性和定量相互间的映射,对图像中不确定面状地物进行合理表达,能够作为图像分析和理解以及空间数据表达的工具。

参考文献:

- [1] WANG, HALL F J, SUBARYONO G B. Fuzzy information representation and processing in conventional GIS software: database design and application[J]. Geographical Information Systems. 1990, 4(3):261-283.
- [2] HO K H L. Fuzzy edge detection by fuzzy categorization and classification of edges; International Joint Conference on Artificial Intelligence Workshop [C]. Montreal: IEEE Computer Society, 1995:182-196.
- [3] PAL S K, KING R A. On edge detection of X-ray images using fuzzy sets[J]. IEEE-PAMI, 1983, 5(1):69-77.
- [4] MENBARDT W, IMME M. Contour detection using fuzzy sets [J]. Signal Process IV: Theories and Applications, 1998, 1633-1636.
- [5] YE XIUQING, GU WEIKANG, XIAO QIANG. Fast fuzzy segmentation algorithm [J]. Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 1996, 9(1):66-70.
- [6] LI DEREN, DI KAICHANG, LI DEYI. Knowledge representation and uncertainty reasoning in GIS based on cloud models [C]. The 9th International Symposium on Spatial Data Handling, 2000(8):1-12.
- [7] CI DEYI, SHI X M, MENG HJ. Membership clouds and cloud generators [J]. The Research and Development of Computers, 1995, 42(8):32-41.
- [8] 薛丽霞, 王佐成, 李永树, 等. 基于云模型的模糊边界检测研究[J]. 西南交通大学学报:自然科学版, 2006, 41(1):85-90.
- [9] FOLEY J D, VAN DAM A, FEINER S K, et al. Computer Graphics: Principles and Practice [M]. Addison-Wesley, 1990.
- [10] 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.

Representation of Uncertain Area in Image Based on Cloud-model

WANG Zuo-cheng^{1,2}, WANG Lin-lin¹, XUE Li-xia^{1,2}, LI Yong-shu²

- (1. Software Institute, Chongqing University of Posts and Telecommunications. Chongqing 400065, China;
2. Eng. Dept. of Surveying, Southwest Jiaotong University, Sichuan ChengDu 610031, China)

Abstract: Aiming at the problem of representation of regions in the process of image processing, the paper presents a method applied to representation of spatial uncertain area in image based on Cloud-model. In two-dimension universe of discourse of image, the linguistic term of the polygons, which have uncertain edge, can be accomplished by relaxation iteration. The linguistic term of the polygons can be considered Cloud-core of Cloud-model. Based on the characteristics of pixels of transition region of fuzzy edge, Object-clouds of polygons can be constructed by Backward-cloud-generator. So Object-cloud can be representation model of spatial uncertain area and spatial uncertain area in image can be represented by digital characteristics of Object-cloud. Experiments testify the method. It enriches the cloud theory, and proposes a new idea for image comprehending and analyzing, especially remote sensing image.

Key words: cloud-model; RS image; spatial uncertain area; object-cloud