

# 一种新的遥感影像边缘检测方法<sup>\*</sup>)

薛丽霞<sup>1,2</sup> 汪林林<sup>2</sup> 李永树<sup>1</sup> 王佐成<sup>1,2</sup>

(西南交通大学土木工程学院 成都 610031)<sup>1</sup>(重庆邮电大学计算机学院 重庆 400065)<sup>2</sup>

**摘要** 提出一种针对于遥感影像的边缘检测方法。该方法首先利用多个尺寸的邻域结构对图像进行平滑,然后根据图像灰度进行对象云化处理,构建对象云。通过云运算生成边界云并构建边缘模糊特征平面,在条件概率和模糊划分熵的基础上,通过最大模糊熵原则确定最优阈值,对图像模糊边界进行提取。试验结果表明,该算法能保留大量低灰度信息,并有效地去除了次要边缘对主边缘的干扰。

**关键词** 对象云,邻域平滑,模糊特征平面,边缘检测

## A New Edge Detection Method of Remote Sensing Image

XUE Li-Xia<sup>1,2</sup> WANG Lin-Lin<sup>2</sup> LI Yong-Shu<sup>1</sup> WANG Zuo-Cheng<sup>1,2</sup>

(School of Civil Eng., Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031)<sup>1</sup>

(School of Computer Science and Technology, Chongqing Post and Telecommunication University, Chongqing 400065)

**Abstract** A new edge detection algorithm of remote sensing image is proposed. First, smoothing the image by different masks, we can construct the object-clouds based on gray-level of images by region growth algorithm. Second, constructing boundary-clouds and fuzzy property facet by Boolean calculation between two or more clouds. Third, getting the optimal threshold through maximizing the entropy of fuzzy partition based on conditional probabilities and entropy of fuzzy partition. At last, we can get the edge of aerial image by fuzzy property facet and optimal threshold. We conduct various performance to show that plenty of low-level gray can be preserved and the disturb of small edges to main edge is suppressed.

**Keywords** Object-cloud, Neighbor smoothing, Fuzzy property facet, Edge detection

由于遥感影像具有其独特的特点,如(1)比例尺小,图像亮暗分布较为均匀;(2)主要边缘断点较多,损失较大;(3)图斑复杂,次要边缘干扰较多;(4)噪声明显等。因而,利用在普通图像中能取得较好检测效果的 Sobel 算子、Roberts 算子、拉普拉斯算子和 Kirsh 算子等对包含大量自然景物的复杂遥感影像进行边缘检测就很难获得满意的结果。本文将云模型及多尺度邻域平滑结合应用于遥感影像中,提出一种新的边缘检测方法。该方法既能保留图像中大量的低灰度值边缘信息,提高检测精度,比较完整地提取主要边缘,同时又尽可能地抑制细小边缘。

### 1 多尺度邻域平滑

由于元器件性能的不稳定、传输过程和量化引起的误差等因素,遥感影像中不可避免地含有噪声<sup>[1~3]</sup>。噪声与边缘相似,一般都表现为灰度异常点,极大地影响了边缘提取的准确性<sup>[4]</sup>,通常在进行邻域平滑之前首先采用中值滤波器对图像进行噪声抑制。但对于具有大量次要边缘和噪声的遥感影像来说,这种方法不能解决影像中细小(次要)边缘对主体边缘的干扰,采用多尺度邻域平滑方法对去噪后的影像进行再次处理能取得很好的效果。

令  $N(i, j)$  为图像  $G(m \times n)$  中点  $(i, j)$  处的邻域,  $(u, v)$  为图像中另一点,有

$$N(i, j) = \{(u, v) | D[(u, v), (i, j)] = w\} \quad (1)$$

其中  $D(\cdot)$  为 D8 距离(棋盘距离)函数,即

$$D[(u, v), (i, j)] = \max(|u-i|, |v-j|) \quad (2)$$

取棋盘距离  $w=1$ , 则  $N(i, j)$  为 8 邻域结构, 设  $W$  为一

个  $3 \times 3$  窗口,  $g'$  为窗口中心点 8 邻域中一点, 若  $g'$  与邻域内所有点的灰度差的最大值为最小时, 则用该点灰度代替邻域中心点灰度, 得目标图像:

$$G(m \times n) = \text{arc minmax}_{g' \in W, g \in W} (|g - g'|) \quad (3)$$

为取得更好效果, 在利用 8 邻域结构进行平滑后, 令  $w$  取不同值, 采用多个的邻域尺寸进行多次处理, 可获得较好的结果。

### 2 基于云的模糊检测

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, 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<sup>[5]</sup>。与之相似的是图像边缘可以看作是一条灰度异常带, 异常带内像素的梯度幅值明显大于其邻域点, 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, 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边缘检测中, 将是一种新的尝试。

#### 2.1 影像中对象的云化处理

##### 1) 对象云生成

用线云和面云表达影像中不确定线状物和面状物, 线云  $L(E_l, S_l, H_l)$  和面云  $P(E_p, S_p, H_p)$  用 3 个参数表达, 其中  $E$  是线云的核, 即期望值,  $S$  和  $H$  分别为熵及超熵。用灰度统计特征作为一致性测度, 采用松弛迭代法进行区域生长<sup>[4,5]</sup>, 提取目标(背景)内部灰度同质性及相似度最高的区域, 该区域作为对象云的云核, 由于图像中存在各种干扰因素, 在生成

<sup>\*</sup>) 基金项目: 重庆市自然科学基金项目(编号: CSTC 2005BB2065)资助。薛丽霞 讲师, 博士研究生, 主要研究方向为空间数据模型, 空间数据库, 数据挖掘, 3S 技术及其应用。

云核的过程中可能存在一个面元同时生成多个“核”的情况，为了避免多余边界的出现，采用“云合并”方法综合多云，具体方法见文[6]。

令云核外二维半云环为  $P(E_{xp}, S_{xp}, H_{xp}, E_{yp}, S_{yp}, H_{yp})$ ,  $U\{(x, y)\}$  为二维论域。式中参数分别是论域  $x$  和  $y$  方向的期望值、熵和超熵。设  $d = \text{Dist}(R, E_{xp})$  是  $U\{(x, y)\}$  上任意一点  $R$  到  $E_{xp}$  的欧式距离。令  $\mu_v$  为第  $v$  个离散目标物隶属于云核的隶属度,  $d_v$  是第  $v$  个离散目标物到  $E_{xp}$  质心  $(x_c, y_c)$  的欧式距离, 利用模型  $S'_p = G(S_p, H_p)$  生成以  $S_p$  为期望值、 $H_p$  为标准差的正态随机数  $S'_p$ , 计算

$$\mu_v = \exp\left[-\frac{d_v^2}{2S_p'^2}\right] \quad (5)$$

利用模型  $(S'_{xp_v}, S'_{yp_v}) = G(S_{xp}, H_{xp}, S_{yp}, H_{yp})$  生成以  $(S_{xp}, S_{yp})$  为期望值、 $(H_{xp}, H_{yp})$  为标准差的二维正态随机数  $(S'_{xp_v}, S'_{yp_v})$ ; 利用模型  $x_v = U(E_{xp} - \sqrt{-2\ln \mu_v} S'_{xp_v}, E_{xp} + \sqrt{-2\ln \mu_v} S'_{xp_v})$  生成均匀随机数  $x_v$  (即第  $v$  个目标离散物在  $x$  方向上的坐标), 由

$$\mu_v = \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\frac{d_{x_v}^2}{S_{xp_v}'^2} + \frac{d_{y_v}^2}{S_{yp_v}'^2}\right]\right\} = \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\frac{(x_v - E_{xp})^2}{S_{xp_v}'^2} + \frac{(y_v - E_{yp})^2}{S_{yp_v}'^2}\right]\right\} \quad (6)$$

计算

$$y_v = E_{yp} \pm \sqrt{-2\ln \mu_v - \frac{(x_v - E_{xp})^2}{S_{xp_v}'^2}} S'_{yp}$$

得到云滴  $(x_v, y_v, \mu_v)$ , 其中:  $d_{x_v}$  和  $d_{y_v}$  表示第  $v$  个目标离散物在  $x$  和  $y$  方向上到  $E_{xp}$  和  $E_{yp}$  的距离。

### 2) 对象云逻辑运算

当每一个不确定对象被构造为面对象云后, 由于边界像素的亦此亦彼性, 使得相邻面元变为具有相交部分的云团。对相邻面云进行逻辑运算生成虚拟边界云, 核即为面元之间的边界。设二维论域上有两朵云  $A = (E_{pA}, S_{pA}, H_{pA})$  和  $B = (E_{pB}, S_{pB}, H_{pB})$ ,  $C(E_{lC}, S_{lC}, H_{lC})$  为边界云, 云的各维相互独立, 对各维分别实施“软与”运算, 见图 1。

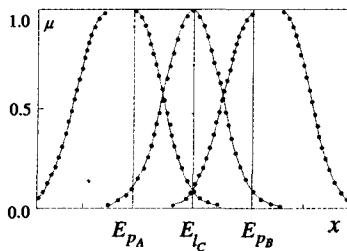


图 1 云的逻辑运算

(1) 若  $|E_{pA} - E_{pB}| \geq |3(S_{pA} + S_{pB})|$ , 则  $A \cap B = \emptyset$ , 表明对象处于“相离”状态, 不存在公共边;

(2) 若  $|E_{pA} - E_{pB}| < |3(S_{pA} + S_{pB})|$  且  $A \supseteq B$  或  $A \subseteq B$ , 则  $C$  等于其中被包含的云, 两个面对象处于“包含”状态, 无公共边;

(3) 若  $|E_{pA} - E_{pB}| \geq |3(S_{pA} + S_{pA})|$  且  $A \not\subseteq B, B \not\subseteq A, E_{pA} \geq E_{pB}$ , 则有公共边, 产生的边界云  $C(E_{lC}, S_{lC}, H_{lC})$ , 该云垂线方向为一维正态云, 其数学期望曲线  $A_c(x)$  为(见图 2):

$$A_c(x) = \exp\left[-\frac{(x - E_{lC})^2}{2S_{lC}^2}\right] \quad (7)$$

数字特征为:

$$\left. \begin{aligned} E_{lC} &\cong \frac{1}{2} |(E_{pA} - 3S_{pA}) + (E_{pB} + 3S_{pB})| \\ S_{lC} &\cong \frac{1}{6} |(E_{pB} + 3S_{pB}) - (E_{pA} - 3S_{pA})| \\ H_{lC} &= \max(H_{lA}, H_{lB}) \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

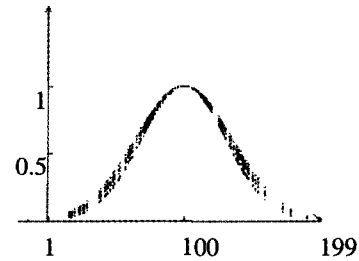


图 2 逻辑运算生成的边界云

### 2.2 边界模糊特征平面

从模糊集的概念来看, 一幅具有  $L$  个灰度级的  $M \times N$  元图像, 可以看作为一个模糊集, 集内的每一个元素具有相对于某个特定灰度级的隶属函数。该模糊集称为图像等效模糊集, 也即图像的模糊特征平面。云团的建立是以图像灰度数据为基础的, 云核上的一点的灰度其隶属于某一灰度级的隶属度为 1, 因而“边界云”  $C(E_{lC}, S_{lC}, H_{lC})$  在垂线方向的一维正态云的期望值应该是边缘的中心灰度。现有被边界云覆盖的图像为边缘图像, 令  $\mu_C(t_{nm}; a, b)$  为边缘图像内任意一像元的灰度隶属于  $E_{lC}$  的隶属度函数。其中  $t$  为像素灰度,  $a = E_{lC} - 3\sigma = E_{lC} - 3S_{lC}$ ,  $b = E_{lC} + 3\sigma = E_{lC} + 3S_{lC}$  有:

$$\mu_C(t_{nm}; a, b) = \begin{cases} 1 & t_{nm} = \frac{a+b}{2}, \\ 1 - 2\left(\frac{t_{nm} - a}{b - a}\right)^2 & a \leq t_{nm} \leq \frac{a+b}{2}, \\ 2\left(\frac{t_{nm} - b}{b - a}\right)^2 & \frac{a+b}{2} \leq t_{nm} \leq b, \\ 0 & t_{nm} < a \text{ 或 } t_{nm} > b. \end{cases} \quad (9)$$

式中:  $\sigma$  为标准差。通过计算可构建影像的模糊特征平面。

### 2.3 模糊分割阈值确定

设边缘图像有  $L$  级灰度,  $0 \leq \mu_C(t_{nm}; a, b) \leq 1$ , 构造隶属带模糊划分集  $Q$ :

$$Q = \{\mu_C(t_{nm}; a, b) \mid \mu_C(t_{nm}; a, b) = \mu_C, 0 \leq \mu_C \leq 1, t_{nm} = 0, 1, \dots, L-1\} \quad (10)$$

模糊边缘检测实际上是一个二值阈值分割问题<sup>[7,8]</sup>, 根据最大模糊熵原理自适应搜索模糊阈值  $\Omega$ , 将隶属带分为强边缘带  $\bar{R}_e$  和弱边缘带  $\bar{R}_s$  两个区域。令  $G$  为图像的模糊划分, 根据模糊划分原理,  $G$  的熵为:

$$H(G) = -\sum_{k=0}^{L-1} \left[ \frac{\mu_e(t)h_t}{\rho(\bar{R}_e)} \log \frac{\mu_e(t)h_t}{\rho(\bar{R}_e)} + \frac{\mu_s(t)h_t}{\rho(\bar{R}_s)} \log \frac{\mu_s(t)h_t}{\rho(\bar{R}_s)} \right] \quad (11)$$

式中  $\mu_e, \mu_s$  分别为灰度对  $\bar{R}_e$  和  $\bar{R}_s$  的隶属程度,  $h_t$  为梯度图像直方图,  $\rho$  为各级灰度出现的概率。设  $a_{Max}, b_{Max}$  为最大模糊熵对应的参数值, 则对隶属带进行划分的最大模糊熵  $V$  必须满足下式:

$$V(a_{Max}, b_{Max}) = \max_{t=0,1,\dots,L-1} (H(a(t), b(t))) \quad (12)$$

利用穷举法<sup>[7]</sup>求得模糊阈值:

$$\Omega = \left[ 1 - \frac{\mu_C(t_{nm}; a_{Max}, b_{Max})}{2} \right] \quad (13)$$

### 2.4 模糊增强

采用增强算子

$$\mu'_C(t_{nm}; a, b) = T_r(\mu_C(t_{nm}; a, b)) = T_1(T_{r-1}(\mu_C(t_{nm}; a,$$

b))),  $r=1, 2, \dots$

其中,

$$T_1(\mu_C(t_{mn}; a, b)) = \begin{cases} 2(\mu_C(t_{mn}; a, b))^2, & 0 \leq \mu_C(t_{mn}; a, b) \leq 0.5 \\ 1 - 2(1 - \mu_C(t_{mn}; a, b))^2, & 0.5 \leq \mu_C(t_{mn}; a, b) \leq 1 \end{cases} \quad (14)$$

在模糊特征平面上对  $\mu_C(t_{mn}; a, b)$  进行非线性变换, 对已增强的模糊特征 ( $\mu_C^r(t_{mn}; a, b)$ ) 进行  $G^{-1}$  变换, 其方式为

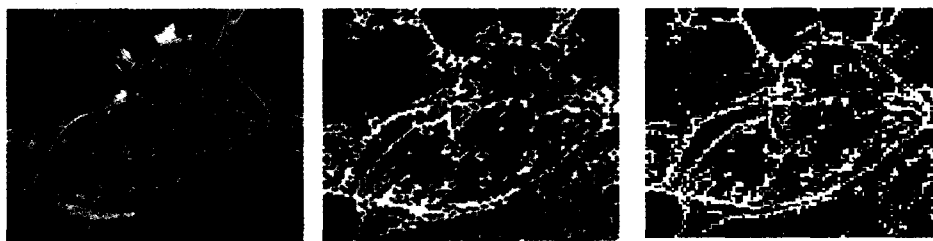
$$X_{mn} = \begin{cases} \sqrt{2\mu_C(t_{mn}; a, b)}\Omega, & X_{mn} \leq \Omega \\ X_{\max} - \sqrt{2(1 - \mu_C(t_{mn}; a, b))}(X_{\max} - \Omega), & X_{mn} > \Omega \end{cases} \quad (15)$$

通过模糊增强, 影像模糊阈值两侧的灰度对比增强, 图像的区域之间将更加清楚。

### 2.5 边缘提取

设边缘图像  $F$ , 其像素  $F(m, n) =$

$$\begin{cases} 200 & \mu_C(t_{mn}; a, b) \geq \Omega \\ 0 & \mu_C(t_{mn}; a, b) < \Omega \end{cases} \text{ 值为 } F(m, n), \text{ 有采用 } 3 \times 3 \text{ 窗口在隶}$$



(a) 原始图像 (b) 用 sobel 算子取得的边缘 (c) 用本文算法取得的边缘

图 3 遥感影像边缘检测效果

实例中原图大小为  $134 \times 113$  像素, 由于噪声的干扰, 经过图像云化处理得到 684 个云核, 云合并后, 提取到 531 个完整的云模型。经过云化处理后, 相邻云之间进行逻辑运算, 图 3 中共提取到 336 个边界云, 表 1 列出部分边界云的数字特征, 图 4 为运算所得的相应边界云。

表 1 边界云数字特征

B-Cloud ID	$E_{IC}$	$S_C$	$H_{IC}$	$a$	$b$
3	25	8	0.010	1	49
12	50	16	0.024	2	98
19	75	8	0.022	51	99
1	99	16	0.010	51	147

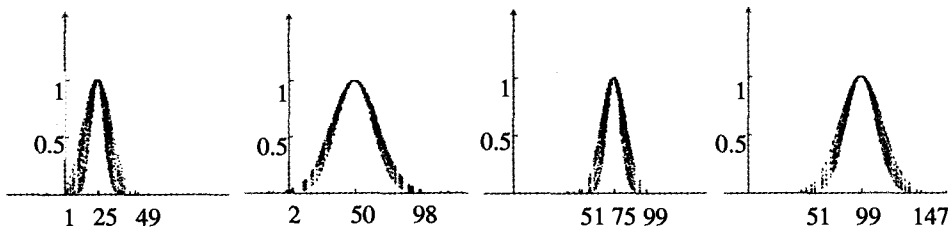


图 4 边界云及其数字特征

**结论** 本文算法利用不同尺度的邻域结构对图像进行多次平滑, 同时将云模型及其运算应用于图像边缘检测, 利用云的特性, 有效地去除了次要边缘对主边缘的干扰, 保留了图像中大量的低灰度值边缘信息。因而该算法在很大程度上弥补了基于模糊集理论算法的缺陷, 同时也兼顾了不确定边界的随机性问题, 是对基于模糊理论边缘检测算法的有益补充; 另外, 与传统检测算法相反, 该算法根据图像灰度数据构建对象云, 用宏观的云对象取代了微观的像素, 在图像边缘检测过程中有效地提高了检测的效率。通过试验验证, 表明利用云模型进行图像模糊边缘检测是可行的, 也是有效的。

### 参考文献

1 Pal S K, King R A. On Edge Detection of X-Ray Images Using Fuzzy Sets [J]. IEEE Trans Patt Anal and Machine Intell, 1983, 5(1):69~77

属带  $G$  上滑动, 使窗口中心与矩阵中元素点  $(m, n)$  重合, 统计窗口中被划分为变换的点数, 如果数目大于 4, 则认为是真实边缘, 将点划到强边缘带内, 否则认为是假边缘或噪声, 将点划分到弱边缘带。

### 3 仿真试验

为了验证本文提出的算法, 选出一幅遥感图像进行边缘检测试验, 其检测结果见图 3。取隶属函数参数  $a=11, b=173, T=0.79$ 。如果直接利用某种边缘算子 (如 Sobel 算子) 检测边缘, 若取较小门限值, 则检测结果中会包含许多假边缘或次要边缘; 若门限值较大, 则边缘不连续, 有较多孤立点。本文算法考虑的对象由单一的像素转变为“云团”, 通过云运算并建立模糊隶属带进行模糊边界的提取, 运算速度将进一步提高, 同时图像中的噪声干扰也会下降; 同时利用不同尺度的邻域结构对图像进行多次平滑, 有效地去除了次要边缘对主边缘的干扰。

2 Sahoo P K, Soltanti S, Wong A K C, et al. A Survey of the Thresholding Techniques [J]. Computer Vision Graphics Image Process, 1988, 41:233~260

3 Heath M, Sarkar S, Thomas S, et al. Comparison of Edge Detectors [J]. Computer Vision and Image Understanding, 1998, 69(1):38~54

4 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: IEEE Computer Society, 1995. 182~196

5 李德毅, 孟海军, 史雪梅. 隶属云和隶属云发生器 [J]. 计算机研究与发展, 1995, 32(6):16~21

6 薛丽霞, 王佐成, 李永树, 汪林林. 基于云模型的模糊边缘检测 [J]. 西南交通大学学报, 2006, 41(1):85~90

7 孙伟, 夏正良, 潘泓. 一种基于模糊划分的边缘检测算法 [J]. 中国图像图形学报, 2004, 9(1):18~22

8 Wang S, Haralick R M. Automatic multithreshold selection [J]. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 1984, 25: 46~67