

基于  $\epsilon_m$  模型的线元位置不确定性度量指标

张国芹<sup>1</sup> 朱长青<sup>2</sup> 李国重<sup>1</sup>

(1 信息工程大学测绘学院,郑州市陇海中路 66 号,450052)  
(2 南京师范大学虚拟地理环境教育部重点实验室,南京市文苑路 1 号,210046)

**摘 要:**首先研究了线元不确定性的  $\epsilon_m$  模型,将该模型误差带边界线分为左边界线、右边界线、左误差半圆和右误差半圆四部分,利用代数的方法推导了这四部分误差带边界线的解析表达式;利用误差带边界线的解析表达式,绘出不确定性区域的图形,给出了平均误差带宽和误差带的面积作为线元不确定性的精度评估指标。  
**关键词:**平面线元;位置不确定性; $\epsilon_m$  模型;误差带  
**中图法分类号:**P207; P208

目前,GIS 线元的误差带模型已有许多研究,从最初的  $\epsilon$ -带模型,到后来的  $E$ -带模型、置信域误差模型、 $G$ -带模型、 $\epsilon_\sigma$  模型和  $\epsilon_m$  模型、 $H$ -带模型等。其中, $\epsilon_\sigma$ -带模型、 $\epsilon_m$ -带模型和  $G$ -带模型研究较多<sup>[1-8]</sup>。 $\epsilon_\sigma$ -带是以线元上任意一点在垂直线段方向上的中误差为带宽; $\epsilon_m$ -带是以线元上任意一点处的误差椭圆上点到直线的最大距离为误差带宽; $G$ -带的边界线是由线元上任意一点处的误差椭圆构成的误差椭圆族的包络线<sup>[1,2]</sup>。 $\epsilon_\sigma$ -带应用较为简单,但与线段相垂直方向上的中误差(带宽)不一定是误差椭圆上至线段距离最大的点,因而该模型是较为严格的; $\epsilon_m$ -带和  $G$ -带理论上都较为严密,但  $G$ -带边界线公式繁琐,计算复杂,应用上较为不便。

1 平面直线不确定性  $\epsilon_m$  模型误差带的边界线方程

1.1 平面直线  $\epsilon_m$  模型误差带

设直线段  $Z_1Z_2$ (图 1 所示)的端点坐标分别为  $Z_1(x_1, y_1)$ 、 $Z_2(x_2, y_2)$ ,它们的方差阵、协方差阵分别为  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_{12}$ <sup>[1]</sup>。  
设直线段  $Z_1Z_2$  与  $y$  轴的夹角为  $\theta$ ,则有  $\theta = \arctan((x_2 - x_1)/(y_2 - y_1))$ ,  $-\pi/2 \leq \theta \leq \pi/2$ 。  
直线上任意一点  $Z_t$  的坐标  $(x_t, y_t)$  可由端点坐标确定<sup>[1]</sup>:

$$\begin{cases} x_t = (1 - t)x_1 + tx_2 \\ y_t = (1 - t)y_1 + ty_2 \end{cases} \quad (1)$$

式中,  $t = s_{1t}/s_{12}$ ,  $s_{1t}$  为  $Z_t$  到端点  $Z_1$  的距离;  $s_{12}$  为  $Z_1$ 、 $Z_2$  两点间的距离。  
由文献[1]可知,  $\epsilon_m$  模型以线元  $Z_1Z_2$  上任意一点  $Z_t$  处的误差椭圆上点到直线的最大距离  $d_m$  为误差带宽,端点处的误差带是由端点的部分误差圆组成(图 1)。为了得到直线上任意一点  $Z_t$  处的误差椭圆上点到直线的最大距离  $d_m$ ,首先将原坐标系沿坐标原点  $O$  逆时针旋转  $\theta$ ,得到新的坐

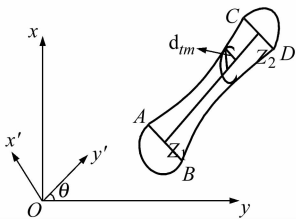


图 1 直线误差带  
Fig. 1 Error Band of a Plane Line Segment

标系  $Ox'y'$ ,使旋转后的坐标系的  $Oy'$  轴与线段方向一致,旋转矩阵为  $R$ <sup>[1]</sup>。根据协方差传播定律,可得线元端点坐标在新坐标系  $Ox'y'$  中的线段端点的方差-协方差阵:  
 $D'_1 = RD_1R^T$ ,  $D'_2 = RD_2R^T$ ,  $D'_{12} = RD_{12}R^T$   
由式(1)和协方差传播律,可得  $Z_t$  点坐标在新坐标系  $Ox'y'$  中的方差、协方差为:

$$\sigma_{x_t'}^2 = (\sigma_{x_1'}^2 - 2\sigma_{x_1'x_2'} + \sigma_{x_2'}^2)t^2 + 2(\sigma_{x_1'x_2'} - \sigma_{x_1'}^2)t + \sigma_{x_1'}^2 = a_1t^2 + b_1t + c_1$$
$$\sigma_{y_t'}^2 = (\sigma_{y_1'}^2 - 2\sigma_{y_1'y_2'} + \sigma_{y_2'}^2)t^2 + 2(\sigma_{y_1'y_2'} - \sigma_{y_1'}^2)t + \sigma_{y_1'}^2 = a_2t^2 + b_2t + c_2$$
$$\sigma_{x_t'y_t'} = (\sigma_{x_1'y_1'} + \sigma_{x_2'y_2'} - \sigma_{x_1'y_2'} - \sigma_{x_2'y_1'})t^2 + (\sigma_{x_1'y_2'} + \sigma_{x_2'y_1'} - 2\sigma_{x_1'y_1'})t + \sigma_{x_1'y_1'}$$

其中,

$$a_1 = \sigma_{x_1'}^2 - 2\sigma_{x_1'x_2'} + \sigma_{x_2'}^2, b_1 = 2(\sigma_{x_1'x_2'} - \sigma_{x_1'}^2), c_1 = \sigma_{x_1'}^2; a_2 = \sigma_{y_1'}^2 - 2\sigma_{y_1'y_2'} + \sigma_{y_2'}^2, b_2 = 2(\sigma_{y_1'y_2'} - \sigma_{y_1'}^2),$$
$$c_2 = \sigma_{y_1'}^2; a_3 = \sigma_{x_1'y_1'} + \sigma_{x_2'y_2'} - \sigma_{x_1'y_2'} - \sigma_{x_2'y_1'}, b_3 = \sigma_{x_1'y_2'} + \sigma_{x_2'y_1'} - 2\sigma_{x_1'y_1'}, c_3 = \sigma_{x_1'y_1'}$$

(3)

式中,  $t = s_{1t}/s_{12}$ ,  $s_{1t}$  为  $Z_t$  到端点  $Z_1$  的距离;  $s_{12}$  为  $Z_1Z_2$  的长度。

在新坐标系  $Ox'y'$  中,  $Z_t$  点在方位角为  $\varphi$  的任意方向上的方差为:

$$\sigma_\varphi^2 = \cos^2\varphi \cdot \sigma_{x'}^2 + \sin^2\varphi \cdot \sigma_{y'}^2 + \sin 2\varphi \cdot \sigma_{x'y'} \quad (4)$$

要求线元上任意一点  $Z_t$  处的误差椭圆上点到直线的最大距离  $d_m$ , 也就是求出使  $\sigma_\varphi \cdot \cos\varphi$  达到最大值的角  $\varphi^{[1,3]}$ , 则  $d_m = \sigma_\varphi \cdot \cos\varphi$ 。

由文献[1]知,  $\varphi$  满足:

$$\tan\varphi = \sqrt{-\frac{q}{2} + \sqrt{(\frac{q}{2})^2 + (\frac{p}{3})^3}} + \sqrt{-\frac{q}{2} - \sqrt{(\frac{q}{2})^2 + (\frac{p}{3})^3}} - \frac{\sigma_{x'y'}}{\sigma_{y'}^2} \quad (5)$$

其中,

$$p = \frac{2\sigma_{x'}^2 - \sigma_{y'}^2}{\sigma_{y'}^2} - \frac{3\sigma_{x'y'}^2}{\sigma_{y'}^4},$$
$$q = -\frac{\sigma_{x'y'}}{\sigma_{y'}^2} - \frac{\sigma_{x'y'}(2\sigma_{x'}^2 - \sigma_{y'}^2)}{\sigma_{y'}^4} + \frac{2\sigma_{x'y'}^3}{\sigma_{y'}^6}$$

由式(2)~式(5)可见, 在端点误差确定的情况下, 线元不确定性的  $\epsilon_m$  模型在线段任意点处的误差带宽  $d_m$  只与参数  $t$  有关, 因此, 误差带可以表达成参数为  $t(0 \leq t \leq 1)$  的函数。

1.2 平面直线  $\epsilon_m$  模型误差带的边界线方程

定义 1 当从线段的前端点走向后端点时, 位于左手侧的误差带的边界线称为左边界线; 位于右手侧的误差带的边界线称为右边界线; 前端点处的误差半圆称为左误差半圆; 后端点处的误差半圆称为右误差半圆。

由线元不确定性的  $\epsilon_m$  模型的定义可知, 误差带边界线  $x=f(y)$  由 4 部分组成: 左边界线  $x=f_1(y)$ 、右边界线  $x=f_2(y)$ 、左误差半圆  $x=f_3(y)$ 、右误差半圆  $x=f_4(y)$ 。

1.2.1 当  $y_1 \leq y_2$  时误差带边界线的表达式

首先讨论  $x_1 < x_2$  且  $y_1 < y_2$  时平面直线  $\epsilon_m$  模型误差带边界线的解析表达式, 如图 2 所示。

1) 左边界线  $x=f_1(y)$  的解析表达式

设  $P(x, y)$  是左边界线  $x=f_1(y)$  上的任意一点, 过  $P$  作线段  $Z_1Z_2$  的垂线, 垂足为  $Z_t(x_t, y_t)$ , 则  $|PZ_t|=d_m, \angle Z_tPQ=\theta$ 。于是, 有:

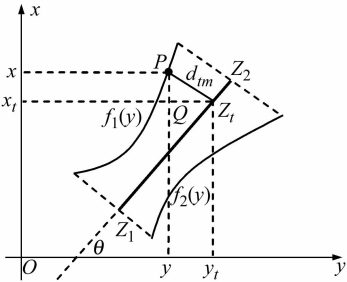


图 2  $x_1 < x_2$  且  $y_1 < y_2$  时误差带的边界线

Fig. 2 Boundary Curve of Line Error

Band in  $x_1 < x_2$  and  $y_1 < y_2$

$$|PQ| = x - x_t = d_m \cos\theta$$
$$|QZ_t| = y_t - y = d_m \sin\theta$$

将式(1)代入上式, 可得到误差带左边界上任意一点  $P(x, y)$  点的坐标为:

$$f_1(y): \begin{cases} x = x_t + d_m \cos\theta = (1-t)x_1 + tx_2 + d_m \cos\theta \\ y = y_t - \sigma_{x_t'} \sin\theta = (1-t)y_1 + ty_2 - d_m \sin\theta (0 \leq t \leq 1) \end{cases} \quad (6)$$

由式(6)知, 左边界上任意一点  $P(x, y)$  的坐标是参数  $t$  的函数, 由此得出左边界线的参数为  $t$  的参数方程。

2) 右边界线  $x=f_2(y)$  的解析表达式

同样地, 可以计算得到右边界线  $x=f_2(y)$  的表达式:

$$f_2(y): \begin{cases} x = x_t - d_m \cos\theta = (1-t)x_1 + tx_2 - d_m \cos\theta \\ y = y_t + \sigma_{x_t'} \sin\theta = (1-t)y_1 + ty_2 + d_m \sin\theta (0 \leq t \leq 1) \end{cases} \quad (7)$$

3) 左误差半圆  $x=f_3(y)$  的解析表达式

左端点  $Z_1$  的误差圆是以  $Z_1$  为圆心、以  $d_{0m}$  为半径, 左端点处的误差半圆是由垂直于直线段  $Z_1Z_2$  的直线  $AD$  截误差圆得到。所以, 左端点处的误差半圆的参数方程为:

$$f_3(y): \begin{cases} x = x_1 + d_{0m} \sin t \left( \frac{\pi}{2} + \theta \leq t \leq \frac{3\pi}{2} + \theta \right) \\ y = y_1 + d_{0m} \cos t \end{cases} \quad (8)$$

4) 右误差半圆  $x=f_4(y)$  的解析表达式

同理, 右端点处的误差半圆的参数方程为:

$$f_4(y): \begin{cases} x = x_2 + d_{1m} \sin t \\ y = y_2 + d_{1m} \cos t \end{cases} \left( \theta - \frac{\pi}{2} \leq t \leq \theta + \frac{\pi}{2} \right) \quad (9)$$

类似地, 当  $x_1 > x_2, y_1 < y_2$  时, 或当  $x_1 = x_2, y_1 < y_2$  时, 或当  $x_1 < x_2, y_1 = y_2$  时, 或当  $x_1 > x_2, y_1 = y_2$  时, 误差带边界线的表达式和当  $x_1 < x_2, y_1 < y_2$  时相同。

$$f_1(y): \begin{cases} x = x_t - d_m \cos \theta = (1-t)x_1 + tx_2 - d_m \cos \theta \\ y = y_t + \sigma_{x'_t} \sin \theta = (1-t)y_1 + ty_2 + d_m \sin \theta \end{cases} \quad (0 \leq t \leq 1) \quad (10)$$

$$f_2(y): \begin{cases} x = x_t + d_m \cos \theta = (1-t)x_1 + tx_2 + d_m \cos \theta \\ y = y_t - \sigma_{x'_t} \sin \theta = (1-t)y_1 + ty_2 - d_m \sin \theta \end{cases} \quad (0 \leq t \leq 1) \quad (11)$$

$$f_3(y): \begin{cases} x = x_1 + d_{0m} \sin t \\ y = y_1 + d_{0m} \cos t \end{cases} \left( \theta - \frac{\pi}{2} \leq t \leq \theta + \frac{\pi}{2} \right) \quad (12)$$

$$f_4(t): \begin{cases} x = x_2 + d_{1m} \sin t \\ y = y_2 + d_{1m} \cos t \end{cases} \left( \theta + \frac{\pi}{2} \leq t \leq \theta + \frac{3\pi}{2} \right) \quad (13)$$

由误差带边界线的解析式(6)~式(13)可以看出, 误差带边界线上的点满足的方程是由线元的端点  $Z_1(x_1, y_1), Z_2(x_2, y_2)$  的坐标和坐标的方差-协方差决定, 即误差带由端点的有关信息决定。

由连续性的定义和误差带的边界线的定义, 容易证明误差带的边界线是连续曲线。

## 2 线元不确定性可视化图形及度量指标

### 2.1 可视化图形

可视化的基本涵义是把一些数据转换成图形的形式, 并以视觉的方式去研究这些图形及其变化, 进而生成新知识的一种科技手段。利用式(6)~式(13)定义的误差带边界线的解析表达式, 可以通过编程画出线元不确定性的可视化图形, 用于误差带的定量化表示、计算及应用。

### 2.2 平均误差带宽

取线段上任意点处误差带宽的平均值(即误差带的平均带宽)作为线段的精度指标, 即

$$\epsilon_s = \int_0^l d_m dt \quad (14)$$

该积分式比较复杂, 可以采用数值积分法在计算机上计算出来。由式(2)~式(5)知, 被积函数  $d_m$  仅与端点坐标的方差、协方差有关, 故积分值(即误差带的平均带宽)仅由端点误差确定。

### 2.3 误差带所包围区域的面积

显然, 当线元端点信息确定时, 线元不确定性误差带所包围的区域越大, 线元的不确定性越大。所以, 求出误差带所包围的区域的面积, 将其作为线元不确定性的度量指标, 具有十分切实的意义。

综上所述, 当  $y_1 \leq y_2$  误差带边界线的解析为式(6)~式(9)。

#### 1.2.2 当 $y_1 > y_2$ 时误差带边界线的表达式

同理, 类似 § 1.2.1 的推导过程, 当  $x_1 < x_2, y_1 > y_2$  时, 或当  $x_1 > x_2, y_1 > y_2$  时, 或当  $x_1 = x_2, y_1 > y_2$  时, 即  $y_1 > y_2$  时, 误差带左、右边界线和左、右误差半圆的解析表达式分别为:

由前面讨论知道, 直线不确定性  $\epsilon_m$  模型由 3 部分组成: 两端点处的误差半圆和中间部分区域。设左、右误差半圆的面积分别为  $A_1, A_3$ , 左、右误差带的中间部分的面积为  $A_2$ 。由于左、右误差半圆的半径分别为两端点处误差椭圆的长半轴  $d_{0m}$  和  $E_{1m}$ , 所以,

$$A_1 = \frac{1}{2} \pi d_{0m}^2, A_3 = \frac{1}{2} \pi d_{1m}^2 \quad (15)$$

由 § 2.2 讨论的平均误差带宽, 故不确定性区域的中间部分的面积为:

$$A_2 = 2l\epsilon_s \quad (16)$$

其中,  $l$  为线段的长度。

由式(15)和式(16), 可以得到直线段不确定性区域面积的代数表达式:

$$A = A_1 + A_2 + A_3 \quad (17)$$

由式(15)、式(16)可以看出, 不确定区域的面积由端点坐标的方差-协方差和线段的长度确定。

## 3 实例分析

已知两个端点的坐标及其方差-协方差, 则可确定直线元的不确定性误差带。这里讨论了 4 条随机线元的不确定性  $\epsilon_E$  模型的可视化, 其端点坐标分别为  $Z_1(500, 200), Z_2(550, 230); Z_1(250, 280), Z_2(320, 230); Z_1(550, 180), Z_2(500, 210); Z_1(800, 500), Z_2(750, 650)$ , 单位为 cm。其端点坐标及其方差-协方差见表 1。

对 4 条线元分别就其  $\epsilon_s$  模型、 $\epsilon_m$  模型计算了相应的平均误差带宽和误差带的面积, 并将利用  $\epsilon_m$  模型得到的相应的线元不确定性度量指标和  $\epsilon_s$  模型进行了比较, 计算结果见表 2。

表 1 线元端点坐标的方差和协方差数据

Tab. 1 Original Data of the Variance and co-variance of the Line Segments										
线元号	$\sigma_{x_1}^2$	$\sigma_{y_1}^2$	$\sigma_{x_1 y_1}$	$\sigma_{x_2}^2$	$\sigma_{y_2}^2$	$\sigma_{x_2 y_2}$	$\sigma_{x_1 x_2}$	$\sigma_{x_1 y_2}$	$\sigma_{x_2 y_1}$	$\sigma_{y_1 y_2}$
1	8.913 5	8.716 8	2.971 5	8.913 5	8.716 8	2.971 5	0	0	0	0
2	1.263 2	0.932 3	0.082 5	1.957 6	1.957 6	0.467 0	0.026 7	0.036 5	0.036 5	-0.065 4
3	2.681 2	1.646 2	0.267 0	0.763 2	0.632 3	0.082 5	0.026 7	0.036 5	0.036 5	-0.065 4
4	3.871 0	2.890 0	0.422 0	1.019 0	0.971 1	0.287 0	0.099 0	-0.034	0.078	0.067 0

表 2 计算结果

Tab. 2 Calculation Results

线元	$\epsilon_\sigma$ 模型		$\epsilon_m$ 模型		模型差值	
	$\epsilon_{sg}/\text{cm}$	$A_g/\text{cm}^2$	$\epsilon_{sm}/\text{cm}$	$A_m/\text{cm}^2$	$\Delta\epsilon/\text{cm}$	$\Delta A/\text{cm}^2$
1	2.012 2	253.976 2	2.104 5	266.553 3	0.0923	12.577 1
2	1.103 1	195.749 1	1.120 9	198.978 6	0.0178	3.229 5
3	0.956 0	116.030 3	0.981 2	119.202 5	0.0252	3.172 2
4	1.293 5	417.217 1	1.296 8	418.310 1	0.0033	1.093 0

表 2 中,  $\epsilon_{sg}$ 、 $A_g$  和  $\epsilon_{sm}$ 、 $A_m$  分别为  $\epsilon_\sigma$  模型和  $\epsilon_m$  模型的平均误差带宽和误差带的面积,  $\Delta\epsilon$ 、 $\Delta A$  分别为  $\epsilon_m$  模型和  $\epsilon_\sigma$  模型平均误差带宽和误差带的面积的差值。

由表 2 的计算结果可以看出,  $\epsilon_m$  模型与  $\epsilon_\sigma$  模型相比差值不大。

根据线元误差带边界线式(6)~式(13), 用 Matlab 编程, 对线元 1、2 的不确定性  $\epsilon_m$  模型进行可视化, 具体结果见图 3。

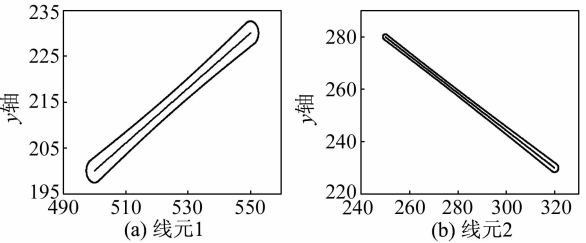


图 3 误差带  
Fig. 3 Error Band

从图 3 的可视化图形可以看出, 误差带的边界线是一条连续闭合的曲线; 误差带的形状是两端较大中间较小。

4 结 语

1) 针对线元不确定性的  $\epsilon_m$  模型, 利用代数的方法推导了其误差带边界线的解析表达式, 边界线方程用四个参数方程分段表达。

2) 根据误差带解析表达式, 画出线元不确定

性的可视化图形, 从而用户可以直观地了解线元不确定性的分布、空间结构和趋势, 以便能更好地理解和使用 GIS 产品。

3) 利用线元不确定性的  $\epsilon_m$  模型, 为线元不确定性精度评估提供了两种度量指标: 平均误差带宽和误差带的面积。线元不确定性度量指标的确定可以保证 GIS 空间分析和应用的可靠性。

4) 将  $\epsilon_m$  模型与  $\epsilon_\sigma$  模型进行了比较。实验表明, 两模型差值不大,  $\epsilon_m$  模型理论上更严密一些。

参 考 文 献

[1] 刘大杰, 史文中, 童小华, 等. GIS 空间数据的精度分析与质量控制[M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1999

[2] 史文中. 空间数据与空间分析不确定性原理[M]. 北京: 科学出版社, 2005

[3] 刘大杰, 华慧. GIS 线要素不确定性模型的进一步探讨[J]. 测绘学报, 1998, 27(1): 45-49

[4] 朱长青, 张国芹, 史文中. 二维线元不确定性  $\epsilon_\sigma$  模型误差带几何特征的代数研究[J]. 测绘学报, 2007, 36(4): 463-467

[5] 李德仁, 彭美云, 张菊清. GIS 中线要素的定位不确定性模型研究[J]. 武汉测绘科技大学学报, 1995, 20(4): 283-288

[6] Shi Wenzhong, Liu Wenbao. A Stochastic Process-Based Model for Positional Error of Line Segments in GIS[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2000, 14: 51-66

[7] 汤仲安, 史文中. 矢量 GIS 平面一般曲线等概率密度误差模型[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2007, 32(1): 85-89

[8] 程涛, 邓敏, 李志林. 空间目标不确定性的表达方法及其在 GIS 中的应用分析[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2007, 32(5): 389-393

第一作者简介: 张国芹, 博士生, 讲师, 主要从事空间数据不确定性与应用数学研究。  
E-mail: gqzhang2@yahoo. com. cn

Measurement Indexes of Positional Uncertainty for Plane  
Line Segment Based on  $\epsilon_m$  Model

ZHANG Guoqin<sup>1</sup> ZHU Changqing<sup>2</sup> LI Guozhong<sup>1</sup>

(1 Institute of Surveying and Mapping, Information Engineering University,  
66 Middle Longhai Road, Zhengzhou 450052, China)

(2 Ministry of Education Key Laboratory of VGE, Nanjing Normal University, 1 Wenyuan Road, Nanjing 210046, China)

**Abstract:** In this paper, the  $\epsilon_m$  uncertainty model of line segments is studied further. Firstly, the error band boundary line is divided into 4 parts: left boundary line, right boundary line, left error semicircle and right error semicircle. The analytic expression about the 4 parts an of the error band boundary line for the  $\epsilon_m$  uncertainty model of line segments are deduced by algebra method. Secondly, the visual graphics of the error band for the  $\epsilon_m$  uncertainty model can be drawn using the analytic formula. Thirdly, the average error band width and the error band area are gotten which are used to measure the precision of the line uncertainty.

**Key words:** plane line; positional uncertainty;  $\epsilon_m$  model; error band

**About the first author:** ZHANG Guoqin, Ph.D candidate, lecturer, her major research orientations are spatial data uncertainty and applied mathematics.

E-mail: gqzhang2@yahoo.com.cn

(上接第 390 页)

Honey-bee Mating Optimization Algorithm for  
Producing Better “Tuned” Masks

ZHENG Zhaobao<sup>1</sup>

(1 School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079,China)

**Abstract:** This paper introduces a honey-bee model and provides a new method of producing better “Tuned” masks with honey-bee mating optimization(HBMTU), which is applied to texture classification of aerial images. The experiments show that the proposed method can improve the quality of tuned mask and classification precision.

**Key words:** honey-bee mating optimization; Tuned mask; image texture classification

**About the author:** ZHENG Zhaobao, professor, Ph.D supervisor. He is engaged in the teaching and research work on photogrammetry and remote sensing, image analysis and interpretation and the application of evolutionary computer. His main research effort concerns the applica- tion of mathematical programming in data and image processing, and Markov random field method in image processing.

E-mail: zhengzb@whu.edu.cn