

文章编号: 1007-4619(2004)02-0137-06

Gaussian 反对称小波与 SAR 影像目标特征提取

赵西安¹, 李德仁²

(1. 西安建筑科技大学 建筑学院, 陕西 西安 710055; 2. 武汉大学 测绘遥感信息国家重点实验室, 湖北 武汉 430070)

摘 要: 由于遥感影像中目标尺度的不确定性,使得在目标特征提取和检测前难以事先确定最佳尺度以适应影像空间不同尺度目标的识别与检测,给遥感影像自动识别与全自动数字摄影测量带来了极大困难。为了解决遥感影像中不同尺度目标的探测问题,提出基于一般高斯核构造一类 Gaussian 反对称小波并给出相应二维小波变换的快速算法,弥补了 Mallat Gaussian 小波($\sigma=1$)在解决遥感影像空间不同尺度目标检测中的不足。对于影像中不同尺度的目标特征探测,通过在 Gaussian 核函数中选择适当的参数 σ 值,得到相应的反对称小波空间滤波器响应系数,用于解决不同目标的检测问题。分别给出了有关 Gaussian 反对称小波的 5 组空间滤波器响应系数,对于研究遥感影像目标兴趣算子和多源遥感影像特征检测尤为重要。由于 SAR 影像中“speckles”是一乘性噪声,文中先对原 SAR 影像进行对数变换得到一同态影像。基于小波变换的软域值斑点噪声抑制既在一定程度上抑制斑点噪声又保持影像细节信息。通过对两 SAR 影像检测实验,表明给出的 Gaussian 反对称小波类在遥感影像特征检测中效果极佳。遥感影像中同时存在阶跃型和屋脊型边缘,可以采用反对称小波的极大模或过零点检测提取影像边缘特征,但得到的结果存在局部位置偏差。这一结论对于今后研究遥感影像自动检测方法和全自动数字摄影测量技术有着重要意义。

关键词: Gaussian 反对称小波类; 影像特征提取; SAR 影像

中图分类号: TP722.6/TP751.1 **文献标识码:** A

1 引 言

多尺度小波变换的过零点和极大模边缘检测算法在影像边缘检测中取得了明显效果^[1-4]。基于高斯核的边缘算子,其提取的影像边缘特征与 σ 取值大小有关。当 σ 值较大时,可以检测影像中大的轮廓特征,而细节信息因为被模糊不能被检测出来。当 σ 值较小时,检测出影像边缘细节的同时,边缘信息中也会含有一些不必要的噪声。文献[3], [5]和[6]给出的基于高斯光滑函数($\sigma=1$)的对称小波和相应的滤波器响应系数,可用于多尺度影像边缘检测。

遥感影像目标特征提取是要在同一幅影像中提取不同尺寸目标,因此采用的检测算子窗口也应该是不同的。由于检测前一般并不知道要探测的目标

大小,因而难以预先确定合适尺度以适应影像空间不同尺度目标的识别与检测。同时由于实际影像特征非常复杂,不可能希望仅用几个特征提取算子或小波算子解决所有的特征提取问题。Mallat Gaussian 小波和 Bubble 小波仅是用于影像特征检测的两个重要小波算子。为了解决复杂的影像特征提取,需要大量适应不同影像特点的检测算子。为此,我们直接从一般高斯核($\sigma \neq 1$)出发,构建一类 Gaussian 反对称小波并给出其二维小波变换的快速算法。对于影像中不同尺度的目标特征探测,通过在 Gaussian 核函数中选择适当 σ 参数,计算得到其空间滤波器 h 和 g ,用于解决特殊 SAR 目标特征提取。文中给出 5 组 Gaussian 反对称小波空间滤波器系数。需要特别指出的是:我们在文中给出的是一类用于影像特征检测的 Gaussian 反对称小波,可以根据需

收稿日期: 2002-12-17; 修订日期: 2003-04-18

基金项目: 国家自然科学基金(49971069, 40023004); 陕西省自然科学基金(2001D09); 陕西省教委专项科研基金(00JK212)。

作者简介: 赵西安(1957-), 男, 博士, 教授。现主要从事数字摄影测量, 机器视觉和遥感图像识别与应用。已发表论文近 20 篇。
(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

要,在 h 和 g 公式中选取不同的 σ 参数而计算得到一组新的空间滤波器系数。由于遥感影像中同时存在阶跃型和屋脊型两类边缘,可以采用反对称小波的极大模和过零点检测影像边缘,但检测结果存在局部位置偏差。在遥感影像目标特征的自动探测以及数字摄影测量研究中应引起重视。

2 Gaussian 反对称小波类构造与影像边缘检测

前以叙及,基于高斯核一阶导数建立的反对称小波变换,其分辨率与 σ 取值有关。这里我们针对一般的高斯核函数 ($\sigma \neq 1$) 构造一类反对称小波,并给出我们使用的 5 组反对称小波空间滤波器响应系数 $g(n, \sigma), h(n, \sigma)$ 。基于张量积建立了二维反对称小波类并给出用于影像特征提取的二维小波变换快速算法。

2.1 一维 Gaussian 反对称小波类与其空间滤波器 $g(n, \sigma), h(n, \sigma)$

$$\text{由一般高斯核: } \theta(x, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

$$\text{其一阶导数为: } \frac{\partial \theta(x, \sigma)}{\partial x} = \frac{-x}{\sigma^3 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$

$$\text{取: } \psi(x, \sigma) = \frac{x}{\sigma^3 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

其傅里叶变换为:

$$\phi(\omega, \sigma) = \int_{-\infty}^{+\infty} \psi(x, \sigma) e^{-j\omega x} dx = -j\omega e^{-\frac{\sigma^2 \omega^2}{2}} \quad (3)$$

显然:

$$\phi(0, \sigma) = 0 \quad \text{即} \quad \int_{-\infty}^{+\infty} \psi(x, \sigma) dx = 0$$

可知, $\psi(x, \sigma)$ 是一族与 σ 有关的允许小波。由于 $\psi(-x, \sigma) = -\psi(x, \sigma)$, $\psi(x, \sigma)$ 为一族反对称小波。函数 $f(x)$ 在尺度 s 和位置 x 的小波变换为:

$$W_s f(x) = f * \psi_s(x, \sigma) = \int f(t) \psi_s(x-t, \sigma) dt$$

$$\psi_s(x, \sigma) = \frac{1}{s} \psi\left(\frac{x}{s}, \sigma\right) \quad (4)$$

定理:对于 $\text{span}\{\phi(x-k)_{x \in z}\}$, 则下面两命题等价

1. $\{\phi(x-k)_{x \in z}\}$ 构成子空间 V 上的 Riesz 基。
2. $A \leq \sum |\hat{\phi}(\omega + 2k\pi)|^2 \leq B$ 。

文献[7]证明了高斯函数作为尺度函数时,上述

定理成立。由于高斯函数是子空间 V 上的 Riesz 基,近似有两尺度方程成立:

$$\left. \begin{aligned} \hat{\phi}(2\omega, \sigma) &\approx H(\omega, \sigma) \hat{\phi}(\omega, \sigma) \\ \psi(2\omega, \sigma) &\approx G(\omega, \sigma) \hat{\phi}(\omega, \sigma) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

又:

$$\begin{aligned} \hat{\phi}(\omega, \sigma) &= \int_{-\infty}^{+\infty} \phi(x) e^{-j\omega x} dx = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} e^{-j\omega x} dx \\ &= e^{-\frac{\sigma^2 \omega^2}{2}} \end{aligned} \quad (6)$$

将式(3), (6)代入(5)式有:

$$H(\omega, \sigma) = e^{-\frac{3\sigma^2 \omega^2}{2}} \quad (7)$$

$$\text{和} \quad G(\omega, \sigma) = -j2\omega e^{-\frac{3\sigma^2 \omega^2}{2}} \quad (8)$$

通过在滤波器 $H(\omega, \sigma)$ 和 $G(\omega, \sigma)$ 中选择适当的 σ 参数值,可以得到相应的反对称小波空间滤波器响应系数,用于解决特殊尺度的影像目标的识别问题。

$$\begin{aligned} h(n, \sigma) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} H(\omega, \sigma) e^{jn\omega} d\omega \\ &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} e^{-\frac{3\sigma^2 \omega^2}{2}} e^{jn\omega} d\omega \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} g(n, \sigma) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} G(\omega, \sigma) e^{jn\omega} d\omega \\ &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} (-j2\omega e^{-\frac{3\sigma^2 \omega^2}{2}}) e^{jn\omega} d\omega \end{aligned} \quad (10)$$

根据式(9)和(10),我们给出相应于 $\sigma=0.3029, \sigma=0.40, \sigma=0.50, \sigma=0.75, \sigma=1.20$ 的空间滤波器响应 $g(n, \sigma), h(n, \sigma)$, 列于表 1。需要指出的是,由于 $\psi(x, \sigma)$ 为反对称小波类,有 $g(-n, \sigma) = -g(n, \sigma)$ 及 $h(-n, \sigma) = h(n, \sigma)$

2.2 二维 Gaussian 反对称小波类与影像边缘提取

由张量积构造基于一般高斯核函数的二维尺度函数为:

$$\phi(x, y, \sigma) = \phi(x, \sigma) \phi(y, \sigma) \quad (11)$$

$$\text{这里} \quad \phi(t, \sigma) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}}, (t=x, y) \quad (12)$$

顾及式(2)和张量积得到 3 个二维基本小波类(与 σ 有关的小波族):

$$\left. \begin{aligned} \psi^1(x, y, \sigma) &= \phi(x, \sigma) \psi(y, \sigma) \\ \psi^2(x, y, \sigma) &= \psi(x, \sigma) \phi(y, \sigma) \\ \psi^3(x, y, \sigma) &= \psi(x, \sigma) \psi(y, \sigma) \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

表 1 对应不同 σ 的 5 组反对称小波空间滤波器系数

Table 1 Five group coefficients of filter impulse response at different σ value

n		0	1	2	3	4	5
$\sigma=0.3029$	$g(n, \sigma)$	0	1.2292175	-0.2433842	0.1718765	-0.1289917	0.1031190
	$h(n, \sigma)$	0.6849316	0.1691405	-0.0167450	0.0078836	-0.0044375	0.0028380
$\sigma=0.40$	$g(n, \sigma)$	0	0.9031287	0.0083990	0.0554560	-0.0439201	0.0360487
	$h(n, \sigma)$	0.5588294	0.2167510	0.0010078	0.0044366	-0.0026353	0.0017304
$\sigma=0.50$	$g(n, \sigma)$	0	0.6378534	0.1600373	0.0200349	-0.0097023	0.0085621
	$h(n, \sigma)$	0.4576583	0.2391950	0.0300070	0.0025044	-0.0009096	0.0006422
$\sigma=0.75$	$g(n, \sigma)$	0	0.2706384	0.2224949	0.0759154	0.0126713	0.0011512
	$h(n, \sigma)$	0.3070833	0.2283647	0.0938706	0.0213525	0.0026730	0.0001943
$\sigma=1.20$	$g(n, \sigma)$	0	0.0791497	0.1118620	0.0940689	0.0557861	0.0246063
	$h(n, \sigma)$	0.1919414	0.1709633	0.1208109	0.0677296	0.0106299	0.0029758

显然, 它们是关于 x 或 y 反对称。与一维反对称小波保持一致, 称其为二维反对称小波。由文献 [2] 可得二维反对称小波变换的 Mallat 快速算法。

$$\begin{aligned}
 & A_{2^j} f(m, n) \\
 = & \left(A_{2^j} f(m, n) * h(m, \sigma) \downarrow 2 \right) * h(n, \sigma) \downarrow 2 \\
 & D_{2^j}^1 f(m, n) \\
 = & \left(A_{2^j} f(m, n) * h(m, \sigma) \downarrow 2 \right) * g(n, \sigma) \downarrow 2 \\
 & D_{2^j}^2 f(m, n) \\
 = & \left(A_{2^j} f(m, n) * g(m, \sigma) \downarrow 2 \right) * h(n, \sigma) \downarrow 2 \\
 & D_{2^j}^3 f(m, n) \\
 = & \left(A_{2^j} f(m, n) * g(m, \sigma) \downarrow 2 \right) * h(n, \sigma) \downarrow 2
 \end{aligned} \quad (14)$$

取 $A_{2^j} f(m, n)$ 近似原始影像 $f(m, n)$, $D_{2^j}^1 f$, $D_{2^j}^2 f$ 和 $D_{2^j}^3 f$ 为影像的 3 个高频信息, $A_{2^j} f$ 为影像的低频部分。在尺度 j 下, 反对称小波变换的极大模和幅角为

$$\begin{aligned}
 M_{2^j}^i(m, n) &= \sqrt{\left[\left(D_{2^j}^1 \right)^2 + \left(D_{2^j}^2 \right)^2 \right]} \\
 E_{2^j}^i(m, n) &= \arctg \left[\frac{\left(D_{2^j}^2 \right)^2}{\left(D_{2^j}^1 \right)^2} \right]
 \end{aligned} \quad (15)$$

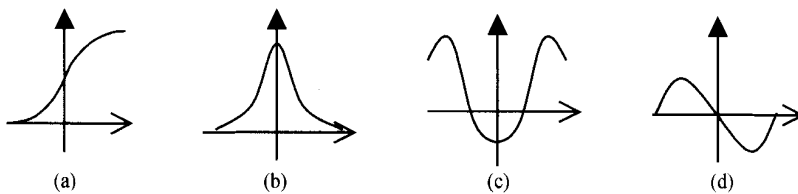


图 1 两类边缘函数及与反对称小波卷积

(a) 阶跃型边缘函数 $f_s(x)$; (b) 屋脊型边缘函数 $f_r(x)$; (c) 反对称小波与阶跃型边缘卷积存在极大模边缘特征; (d) 反对称小波与屋脊型边缘卷积存在过零点边缘特征

Fig. 1 Both step and roof edge functions, as well as results convolved with anti symmetric wavelets

(a) step edge function $f_s(x)$; (b) roof edge function $f_r(x)$; (c) maximum modulus existing in $\psi(x) * f_s(x)$; (d) zero crossings existing in $\psi(x) * f_r(x)$

由(15)式的非极大抑制检测可得到边缘影像。比较(14)式可知, 这里将二维反对称小波 Mallat 快速算法与反对称小波的极大模检测统一起来^[8,9]。此外, 由二维反对称小波快速算法得到的 $D_{2^j}^1 f$, $D_{2^j}^2 f$ 和 $D_{2^j}^3 f$ 中, 含有丰富的高频细节信息, 对于进一步研究建立影像点目标兴趣算子和多源遥感影像的自动特征提取研究有着重要价值。

3 遥感影像中阶跃型和屋脊型边缘问题

根据 Marr 计算视觉理论, Gaussian 核函数的一阶导数与阶跃型影像 $f(x)$ 的卷积存在极大模边缘特征; 其二阶导数与阶跃型影像卷积存在过零点边缘特征。通常我们称用反对称小波 (光滑函数的一阶导数) 的极大模和对称小波的过零点提取影像边缘特征, 是指提取阶跃型影像边缘^[10,11]。研究发现影像中同时存在阶跃型和屋脊型两类边缘, Gaussian 反对称小波 $\psi(x, \sigma)$ 与阶跃型边缘的卷积存在极值点, 而与屋脊型边缘的卷积存在过零点。如图 1 所示。本文实验表明了遥感影像中存在上述两类性质的边缘。

图 1 中反对称小波 $\psi(x)$ 与阶跃型边缘 $f_S(x)$ 卷积有极大模边缘存在(图 1(c)); 而与屋脊型边缘 $f_R(x)$ 卷积可以通过其过零点检测边缘(图 1(d))。由于影像空间尺度不确定性,在高分辨率遥感影像中表现为阶跃型边缘的目标,在低分辨率影像中会表现为屋脊型边缘。也就是说,对同一遥感影像我们即可用反对称小波进行极大模边缘检测,又可用反对称小波进行过零点检测,但检测结果存在局部位置差异。这为今后的多尺度遥感影像边缘特征提取研究提出了新的课题,应引起足够的重视。

4 实验与分析

图 2(a)是一幅 256×256 SAR 影像,主要是纹理

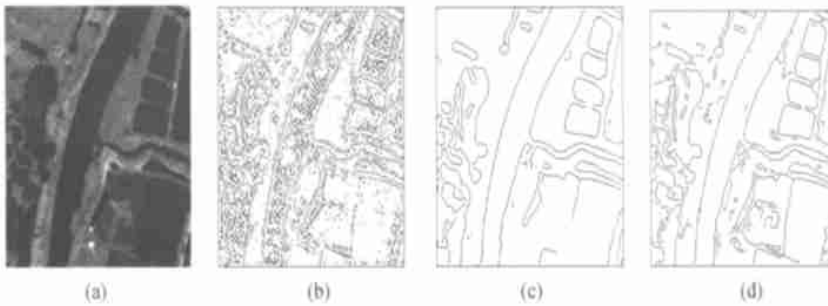


图 2 二维反对称小波变换提取影像边缘

(a) SAR 影像(256×256); (b) Mallat Gaussian 小波变换提取图 2(a) 边缘(尺度=3); (c) 在尺度=3, $\sigma=0.75$, 反对称小波变换极大模提取边缘; (d) 在尺度=3, $\sigma=0.4$, 反对称小波变换极大模提取的边缘

Fig. 2 Edge features extracted by the antisymmetric wavelet transforms

(a) SAR image (256×256); (b) Edge features of Fig. 2(a) extracted by zero-crossings of Mallat Gaussian wavelet transforms at scale=3; (c) Edge features extracted by maximum modulus of the antisymmetric wavelet transforms at scale = 3, $\sigma = 0.75$; (d) Edge features extracted by maximum modulus of the transforms at scale=3, $\sigma=0.4$

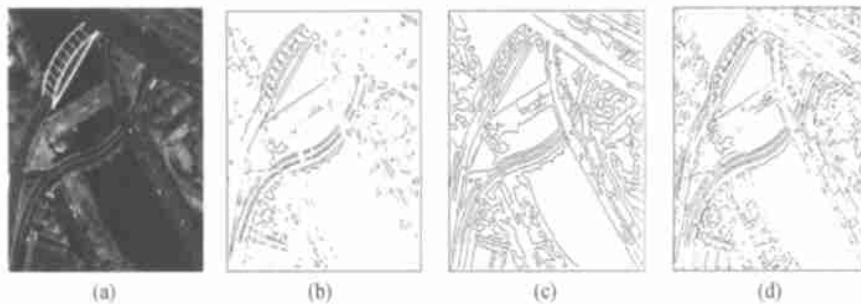


图 3 二维反对称小波变换提取影像边缘

(a) SAR 影像(256×256); (b) Bubble 小波变换提取图 3(a) 边缘(尺度=3); (c) 在尺度=3, $\sigma=0.5$, 反对称小波变换极大模提取边缘; (d) 在尺度=3, $\sigma=0.5$, 反对称小波变换过零点提取的边缘

Fig. 3 Edge features extracted by the antisymmetric wavelet transforms

(a) SAR image (256×256); (b) Edge features of Fig. 3(a) extracted by zero-crossings of Bubble wavelet transforms at (scale=3); (c) Edge features extracted by maximum modulus of the antisymmetric wavelet transforms at scale=3, $\sigma=0.5$; (d) Edge features extracted by zero-crossings of the transforms at scale=3, $\sigma=0.5$

信息(水面和陆地)。图 3(a) 的 SAR 影像 (256×256) 中主要是道路等人工构筑物。由于雷达后向散射信号相干特性, SAR 影像中 'speckles' 是一乘性噪声。为此先对原 SAR 影像进行对数变换, 基于小波变换的软域值斑点噪声抑制方法既能在一定程度上抑制斑点噪声又能保持影像边缘细节。图 2(b) 是用 Mallat Gaussian 小波变换提取图 2(a) 边缘(在尺度=3); 图 2(c) 是在尺度=3 和 $\sigma=0.75$ 时反对称小波变换极大模提取的边缘; 图 2(d) 是在尺度=3 和 $\sigma=0.4$ 时反对称小波变换极大模提取的边缘。

比较图 2(b) 和图 2(c) 可以发现, 在同一尺度下, Mallat Gaussian 小波变换提取的边缘中含有较多的高频噪声(尺度=3, 图 2(b)), 本文给出的反对称小波在尺度参数 $\sigma=0.75$ (尺度=3) 时, 用极大模提取的边缘更为有效, 特别是提取的河岸边界较光滑。图 2(d) 是在尺度=3, $\sigma=0.4$ 的条件下, 用反对称小

波变换极大模提取的图 2(a) 边缘。比较图 2(c) 和图 2(d) 可知, 在相同尺度下(尺度=3), 图 2(d) 的边缘中含有较多的细节。也就是说, 用基于 Gaussian 核的小波提取影像边缘特征时, 提取的边缘效果与 σ 取值大小有关。针对不同的影像目标选择不同尺度参数 σ 的小波空间滤波器 h 和 g , 可以得到好的检测效果。

图 3(b) 是用 Bubble 小波变换提取图 3(a) 边缘(在尺度=3); 图 3(c) 是在尺度=3 和 $\sigma=0.5$ 时, 用反对称小波变换极大模提取的边缘; 图 3(d) 是在尺度=3 和 $\sigma=0.5$ 时, 用反对称小波变换过零点提取的边缘。比较图 3(b) 和图 3(c) 可以发现, 在同一尺度下(尺度=3), 用 Bubble 小波变换提取图 3(a) 边缘效果不好(图 3(b)), 这说明 Bubble 小波不宜用于图 3(a) 的 SAR 影像边缘特征提取; 而用本文给出的反对称小波变换, 在选取合适的尺度参数($\sigma=0.5$) 时可提取较为理想的边缘。比较图 3(b) 和图 3(c), 可以知道反对称小波变换极大模和过零点都可以提取影像边缘, 但图 3(c) 中检测到桥边界与图 3(d) 的位置不同, 而且两图中检测到的河岸特征有所不同。这是由于遥感影像中同时存在阶跃型和屋脊型边缘所致。

5 结论

为了解决遥感影像中不同尺度目标检测和复杂的影像特征提取, 需要有大量适应不同影像特点的检测算子。本文基于高斯核构建了一类用于影像特征检测的 Gaussian 反对称小波, 文中并给出了 5 组反对称小波空间滤波器 $g(n, \sigma)$ 与 $h(n, \sigma)$ ($\sigma=0.3029, \sigma=0.40, \sigma=0.50, \sigma=0.75$ 和 $\sigma=1.20$), 可用于遥感影像多尺度特征检测。使用中还可以根据遥感影像中不同目标检测问题, 用文中给出的计算反对称小波空间滤波器公式(由选取适当的 σ 参数值) 得到一组新的 $g(n, \sigma)$ 与 $h(n, \sigma)$ 。针对遥感影像空间目标尺度不确定性, 今后我们研究的重点在小波多尺度自适应算子研究。遥感影像中存在两

类边缘, 可采用反对称小波变换的极大模和过零点检测, 但检测结果存在明显局部位置差异, 这一结论对今后遥感影像边缘自动检测算子和全自动数字摄影测量技术研究有着重要意义。

参考文献 (References)

- [1] Mallat S. A Theory for Multiresolution Signal Decomposition: the Wavelet Representation [J]. *IEEE Transactions on PAMI*, 1989, 11(7): 674-693.
- [2] Mallat S. Zero-Crossings of a Wavelet Transform [J]. *IEEE Transactions on IT*, 1991, 37(4): 1019-1033.
- [3] Mallat S, Huang W L. Singularity Detection and Processing with Wavelets [J]. *IEEE Transactions on IT*, 1992, 38(2): 617-643.
- [4] Mallat S, Zhong S. Characterization of Signals from Multiscale Edges [J]. *IEEE Transactions on PAMI*, 1992, 14(7): 710-732.
- [5] Jia Tianxu, Zheng Nanning. Multiscales Edges Detection Based on Bubble Wavelet [J]. *Acta Electronica Sinica*. 1996, 24(4): 117-121. [贾天旭, 郑南宁. 基于 Bubble 小波的多尺度边缘提取 [J]. 电子学报, 1996, 24(4): 117-121.]
- [6] Zheng Nanning. Computer Vision and Pattern Recognition [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1998. [郑南宁. 计算机视觉模式识别 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1998.]
- [7] Liu Guizhong. The General Theory of Multi-Resolution Analysis [R]. The Study Report in Information Engineering Institute, Xi'an Jiaotong University, 1994. [刘贵忠. 多分辨分析的一般理论 [R]. 西安交通大学信息工程研究所研究报告, 1994.]
- [8] Wang Yuping, Cai Yuanlong. Multiscale Edge Detection Based on B-spline Wavelets [J]. *Science of China (A)*, 1995, 25(4): 427-437. [王玉平, 蔡元龙. 多尺度 B 样条小波边缘检测算子 [J]. 中国科学(A 辑), 1995, 25(4): 427-437.]
- [9] Wang Yu-Ping, S L Lee. Scale-Space Derived from B-Splines [J]. *IEEE Transactions on PAMI*, 1998, 20(10): 1040-1055.
- [10] Li Deren, Shao Juliang. The Wavelet and Its Application in Image Edge Detection [J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 1994, 49(3): 4-11.
- [11] Li Deren, Shao Juliang. Automatic Recognizing Buildings in Aero-Plane Image Integrating Multi-Resolution Analysis with Information Fusion [J]. *Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 1994, 7(3): 230-240. [李德仁, 邵巨良. 集多分辨分析与信息融合的航空影像中房屋的自动识别 [J]. 模式识别与人工智能, 1994, 7(3): 230-240.]

Gaussian Antisymmetric Wavelets Built for Extracting the Objects and Features in SAR Image

ZHAO Xi-an¹, LI De-ren²

(1. College of Architecture, Xi'an University of Technology and Architecture, Xi'an 710055, China;

2. National Laboratory for Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430070, China)

Abstract: It is well-known that, because the object scales in remote sensing images change over wide and unpredictable ranges, a problem in selecting adaptive scale filter is existed for extracting different scale objects in remote sensing images. Aiming at object scales in remote sensing image change uncertain, we introduce one class of Gaussian antisymmetric wavelets based on Gaussian kernel, which extends to Mallat Gaussian wavelet ($\sigma=1$). Coefficients of spatial filter related to the class of Gaussian antisymmetric wavelets given in the paper are derived adaptively by selecting appropriate parameter σ values for special scale object extraction in SAR. Five group coefficients of spatial filter related to the antisymmetric wavelets have been given in this paper. It is important that ones develop interesting operators for the object recognition of SAR images and investigate approaches for feature detection in multi-resource remote sensing images. Because 'speckle' in SAR images is a multiplicative noise, we performed firstly logarithm transform over the two SAR images in preprocessing. Then the features in the logarithm images may be detected in the wavelet transform. It is shown by our experiments in two SAR images that the class of Gaussian antisymmetric wavelets is very efficient for feature extraction in remote sensing images, in which object scales change over wide ranges. Because there exist both step and roof edges in remote sensing images, maximum modulus, or zero-crossings of antisymmetric wavelet transforms can be used for edge feature detection, but the results detected exist local position discrepancy. The conclusion is important to explore new edge detectors in remote sensing images and new technology related to all automatic digital photogrammetry in future.

Key words: class of Gaussian antisymmetric wavelets; feature extraction of image; SAR image