

CBERS 影像滩涂湿地识别技术 ——基于小波的同态滤波去云方法

王敬磊, 崔晨风

(西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西杨凌 712100)

摘要: 滩涂是中国重要的后备土地资源, 具有面积大、分布集中、区位条件好、农牧渔业综合开发潜力大的特点。如果滩涂湿地遥感影像存在云雾噪声, 则会严重影响滩涂湿地信息的判读、分析和使用。从影像整体角度出发, 提出基于小波的同态滤波算法, 在去除 CBERS 影像滩涂湿地云雾的同时保证了滩涂湿地信息不被损坏。结果表明, 处理后的影像云雾噪声得到很大程度的弱化, 滩涂湿地的全貌清晰可见, 遥感影像的质量有了显著改善, 大大提高了滩涂湿地图像信息判读、分析和使用的价值, 为滩涂湿地水土资源的合理开发利用提供了依据。

关键词: 滩涂湿地; 小波; 同态滤波

中图分类号: S127 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002–1302(2014)09–0304–03

通常情况下, 遥感影像上云雾噪声和滩涂湿地有很多相似之处, 如何在去除云雾的同时保证滩涂影像不被损坏, 是获得可靠滩涂湿地信息的关键。滩涂湿地遥感影像上存在的云雾噪声突出了图像的低频信息, 削弱了图像的高频信息, 造成有用信息的缺失, 严重影响了滩涂湿地影像信息的判读、分析和使用^[1], 使得影像数据的有效利用率降低。目前对于云雾噪声的去除技术可分为基于空间域和基于频率域的两大类。但前类方法没有考虑影像信息的频率特征, 未能达到突出高频信息、衰减低频信息、提高图像清晰度的目的^[2]; 后类方法由于没能充分考虑影像的空间频域局部特性, 致使影像局部对比度增强效果不明显, 未能达到使用要求^[3]。对于云雾噪声的去除只有并重空域和频域特性, 才能达到综合考虑增强影像局部对比度性能、提高频域信息高通处理质量的目的, 满足实际需求标准。

近年来, 相关学者从旅游开发、滩涂围垦、滩涂资源保护等方面对滩涂湿地展开了研究。在干扰滩涂湿地遥感影像质量的前提下, 去除云雾噪声的研究尚未见报道。本研究从影像整体角度出发, 兼顾影像的空域和频域特点, 提出一种基于小波的同态滤波方法, 并将其应用到去除滩涂影像的云雾噪声中去, 以此达到弱化云雾噪声, 提高滩涂湿地遥感影像判读、分析和使用的目标。

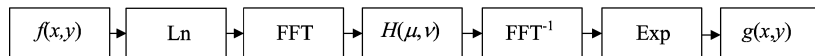


图1 同态滤波法去云雾原理流程

收稿日期: 2013–11–27

基金项目: 国家自然科学基金—新疆联合基金(编号: U1203182); 国家自然科学基金(编号: 51279166); 武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室项目(编号: 2011B083)。

作者简介: 王敬磊(1991—), 男, 河南驻马店人, 本科生, 主要从事水文与水资源方面的研究。E-mail: 374601384@qq.com。

通信作者: 崔晨风, 博士, 讲师, 研究方向为 3S 技术在农业水土工程和水文水资源中的应用、大坝安全监测、精密工程测量。

1 基于照明反射模型的同态滤波原理

同态滤波(homomorphic filtering, HF)属于图像频率域处理范畴, 作用是对图像灰度范围进行调整, 通过消除图像上照明不均的问题, 增强暗区的图像细节, 同时又不损失亮区的图像细节。通常情况下, 任意一个空域图像可以表示成二维函数 $f(x, y)$ 的形式, 由照明函数 $f_i(x, y)$ 和反射函数 $f_r(x, y)$ 的乘积来表征^[4], 如式(1)所示:

$$f(x, y) = f_i(x, y) \cdot f_r(x, y) \quad (1)$$

式中: $0 < f_i(x, y) < \infty$, $0 < f_r(x, y) < 1$ 。

由于照度的相对变化很小, 可以看作是图像的低频成分, 而反射率则是图像的高频成分; 因此设计一个对高频和低频分量影响不同的高通滤波器 $H(\mu, \nu)$, 通过分别对照度和反射率对像元灰度值的影响进行处理, 可以达到揭示阴影区细节特征的目的。因此, $H(\mu, \nu)$ 的选择如下: 低频部分的 $H(\mu, \nu) < 1$, 高频部分的 $H(\mu, \nu) > 1$, 从而使占据低频成分的烟雾成分从图像信息中剔除或抑制。同态滤波处理的流程: 对原始图像先取对数, 再进行傅立叶变换, 然后用同态滤波函数处理, 再进行傅立叶逆变换, 最后通过指数运算得到处理后的图像^[4]。同态滤波处理流程见图 1。

图 1 中: $f(x, y)$ 表示原始图像矩阵; $g(x, y)$ 表示处理后的

图像矩阵; Ln 表示对数运算; Exp 表示指数运算; FFT 表示傅里叶变换; FFT^{-1} 表示傅里叶逆变换。

只有当滤波器频率响应呈现出光滑、缓慢变化的特征时, 才能有效减少乃至消除振铃效应的影响。由于上述原因, 本研究提出的方法中选用 1 种经过改进的指数型同态滤波器, 参数模型如式(2)所示:

$$H(\mu, \nu) = \gamma_H - \gamma_L \cdot e^{-c[D_0^2/D^2(\mu, \nu)]^2} \quad (2)$$

式中: γ_L 为照度, 取值范围小于 1; γ_H 为反射率, 取值范围大于 1; c 为引入常数, 为表征调节滤波器函数斜面锐化程度的

常量,其数值在 γ_L 和 γ_H 间; D_0^2 为初始频率;截止频率 $D^2(\mu, \nu) = (\mu - A/2)^2 + (\nu - B/2)^2$, 其中 A, B 为图像的尺寸^[5]。

2 基于小波的同态滤波处理

2.1 小波变换

小波变换是一种新的变换分析方法,继承和发展了短时傅立叶变换局部化的思想,同时又克服了窗口大小不随频率变化等缺点,能够提供一个随频率改变的时间-频率窗口,因其能够在时域和频域内有良好的局部性能,可以通过伸缩和平移等运算功能对信号进行多分辨率分析,因而被广泛应用于同态滤波^[6]。

从频谱分析的角度讲,小波变换(wavelet transform, WT)是将原始信号分解为在一系列倍频带上的多个高频带数据和一个低频带数据,也就是用 2 组小波系数(高通、低通)分别对图像数据进行卷积,得到高、低频 2 部分(高通滤波后的高频部分和低通滤波后的低频部分分别对应连续小波变换的小

波空间和尺度空间)^[7];原始信号经过小波分解后,得到多个高、低频层次,各层次的频率和分辨率均不相同,能够构成多分辨率的塔形结构,此时小波逆变换精确重构信号,使得各层次分辨率有着不同程度的增强^[8]。

通过量级积运算,对图像的垂直和水平方向进行小波变换,能够使一维小波变换推广到二维图像,获得一个低频带 L_A 和 3 个具有方向选择性的低频带 G_H, G_V, G_D 。图像阴影区的细节和高频变化成分在 G_H, G_V, G_D 上体现出来,图像的亮度分布和基本面貌通过低频带 L_A 反映出来,而且低频带 L_A 可以继续分解得到多级分解层次^[9]。如果用同态滤波法处理不同分辨率下的小波分解系数,就能达到增强高频信息、衰减低频成分的目的。小波变换的空域特性在一定程度上保证了影像的整体面貌,再结合雾霾的高灰度特征,就能制定合理的图像融合方案,更好地保留原图像低频部分的细节特征,获得较高质量的遥感影像^[10]。基于小波的同态滤波处理的流程见图 2。

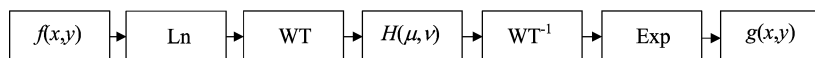


图2 基于小波的同态滤波流程

图 2 中: $f(x, y)$ 表示原始图像矩阵; Ln 表示对数运算; WT 表示小波变换; WT^{-1} 表示小波逆变换; Exp 表示指数运算; $g(x, y)$ 表示处理后的图像矩阵。

Daubechies 函数是由世界著名的小波分析学者 Inrid Daubechies 构造的小波函数,本研究选用 Daubechies 小波系(在 Matlab 中记为 dbN,其中 N 为小波序号)。假设 $P(y) = \sum_{k=0}^{N-1} C_k^{N-1+k} + y^k$, 其中 C_k^{N-1+k} 为二项式的系数,则有:

$$|m_0(w)|^2 = \cos^{2N} \left(\frac{w}{2} \right) P \left[\sin^2 \left(\frac{w}{2} \right) \right]. \quad (3)$$

式中: $m_0(w) = \left(\sum_{k=0}^{N-1} h_k e^{-ikw} \right) / 2^{1/2}$; N 为小波序号; k 取值为 $C \sim N-1$; W 为频率, Hz。

该函数的特点为,小波函数和尺度函数的有效支撑长为 $2N-1$,小波函数的消失矩阶数为 N ; dbN 大多数不具有对称性;对于有些小波函数,不对称性是非常明显;正则性随着序号 N 的增加而增加;函数具有正交性^[4]。

2.2 小波系数改进方法

因为云雾在频率域上呈现低频特征,因此对不同分辨率下的小波分解系数进行高通滤波处理,就可以衰减低频信息,增强高频信息,达到弱化云雾的目的。对于式(2)的同态滤波器取 $D_0^2/D^2(\mu, \nu)2 = (\partial_h^2 + \partial_v^2)^{1/2}$, 使 $H[D_0^2/D^2(\mu, \nu)^2]$ 改进成 $H[(\partial_h^2 + \partial_v^2)^{1/2}/2^i k_c]$, 以适合对小波系数的滤波处理。上式中: i 表征小波系数的分解级数; 2^i 表征相应的分辨率; k_c 表征截止系数; ∂_h, ∂_v 分别表征水平权系数、垂直权系数。

对于 $G_{Hj}, G_{Vj}, G_{Dj}, L_{Aj}$ 分别有特殊的 ∂_h, ∂_v 值与其对应。对应关系如下:

$$\begin{cases} G_{Hj} \cdots \partial_h = 1, \partial_v = 0 \\ G_{Vj} \cdots \partial_h = 0, \partial_v = 1 \\ D_{Dj} \cdots \partial_h = 1, \partial_v = 0 \\ L_{Aj} \cdots \partial_h = 0, \partial_v = 0 \end{cases}. \quad (4)$$

式中: $j = (1, 2, \dots, n)$ ^[9]。该种改进思路,不仅能够保证高通

滤波器中滤波特性与滤波器参数间的关系,也能满足各级小波系数的频域倍频特征^[4,11]。

2.3 改进算法的特点

根据本研究提出的改进思想,对式(2)进行适当变形,得:

$$H(j, \partial_h, \partial_v) = \gamma_H - \gamma_K \cdot e^{-k(\partial_h^2 + \partial_v^2)^{1/2}/2^i k_c}. \quad (5)$$

式中: $H(j, \partial_h, \partial_v)$ 可作为表征 G_{Hj}, G_{Vj}, G_{Dj} 3 个区域的小波系数增强倍数,其中, $j = 1, 2, \dots, n$ 。对于低频带 L_{Aj} , 公式(5)可化简为 $\gamma_H - \gamma_L$ 。根据影像的特点,对低频带 L_{Aj} 上的系数进行线性或非线性调整,修正影像的亮度不均匀性^[9]。本研究采用线性调整方式,用公式(6)中的 H_{Hj} 作为低频带 L_{Aj} 增强后的小波系数,即

$$H_{L_{Aj}} = (\gamma_H - \gamma_L) [k(x - m) + m]. \quad (6)$$

式中: $k(x - m) + m$ 能够调整 L_{Aj} 区的系数并使其达到线性均衡; x 表征 L_{Aj} 区上的小波系数; m 表征 L_{Aj} 区上小波系数的平均值; k 为对比度调节因子,其值满足 $0 \leq k \leq 1$ 。

其中 k 取不同的值时,影像的处理结果不同。当 $k = 1$ 时,影像云雾噪声区域的高频信息有了一定程度的增强,影像的原始面貌得以较好的保留,但整个空间频域范围中的光照不均匀依然很突出;当 $k = 0$ 时, L_{Aj} 中的低频信息得以全部消除,整个空间频域范围中的光照不均匀基本得到消除,但同时图像的原始面貌改变较大,这是由于 L_{Aj} 区域中包含的低频信息并不完全由光照不均引起,但是所有的低频信息都被消除的结果。综上所述,需要在 $0 < k < 1$ 范围内选择适合的 k 值,以便更好地保持影像的原始面貌,并且达到削弱云雾噪声、增强图像局部对比度的目的^[12]。

3 处理与分析

3.1 对象

中巴地球资源卫星(CBERS)是我国第一代传输型地球资源卫星,图像产品可广泛应用于国土资源调查与监测、防灾

减灾、农林水利、生态环境、国家重大工程等领域,在我国国民经济中发挥着强有力的作用。但其获得的遥感影像质量不是很高,制约了其发挥更大价值。

本研究以截取出的 CBERS 遥感图像中受云雾噪声影响的滩涂湿地影像为研究对象,运用基于小波的同态滤波法对其进行处理。

3.2 处理过程

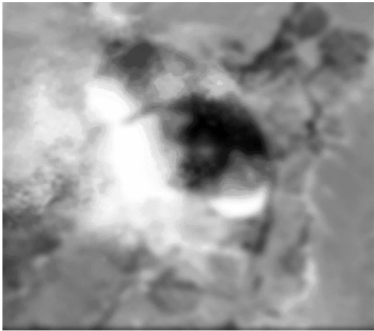
3.2.1 分解级数的选择 在实际操作中,对于小波分解级数的选择要特别注意,数值既不能过大也不能过小。分解级数过大会影响 L_{ij} 中的小波系数反映影像的光照分布特性,不能达到弱化云雾噪声的目的,而且增大运算负担;分解级数过小,则会干扰 L_{ij} 中冗杂细节信息的去除,导致图像云雾噪声区域信息损失,两者都不能得到理想的处理效果。

本研究着重于削弱云雾噪声,突出水体特征,元素相对单一,因此确定分解级数为 2。

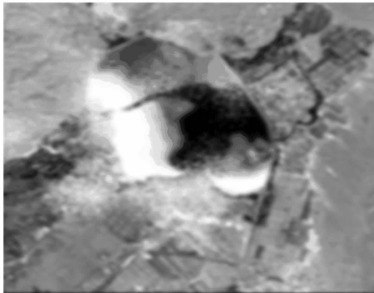
3.2.2 小波系数的确定 由于不同地区、不同云雾噪声干扰下的滩涂湿地遥感影像存在差异,因此小波系数的参数也有所不同。针对本研究选择的试验对象,运用文中阐述的方法进行处理,通过多次试验得到小波系数的相关参数值率测定结果: γ_L 表征照度,取值范围小于 1,试验取值: $\gamma_L = 0.9$; γ_H 表征反射率,取值范围大于 1,试验取值: $\gamma_H = 1.5$; c 为引入常数,为表征调节滤波器函数斜面锐化程度的常量,其数值在 γ_L 和 γ_H 间,试验取值: $c = 1$; k_c 表征截止系数,试验取值: $k_c = 0.3$; k 表征对比度调节因子,其值满足 $0 \leq k \leq 1$,试验取值: $k = 0.6$ 。

3.3 处理结果

试验结果如图 3 所示,其中图 3-a 为带有云雾噪声的原始影像,由光照引起图像局部对比度不均匀,滩涂湿地的细节几乎无法辨认,严重影响了滩涂湿地的判别;图 3-b 是采用去除云雾噪声增强后的结果。



a. 原始图像



b. 处理后结果

图3 去除云雾噪声前、后图像

通过对比可以看出,云雾噪声得到了很大程度的弱化,同时滩涂湿地的全貌变得清晰可见,遥感影像的质量有了显著提高,达到了预期去除云雾且不损坏滩涂影像信息的目的。

3.4 结果分析

从资源卫星应用中心网站上,查得中巴地球资源卫星 (CBERS) 的 CCD 相机在星下点的空间分辨率为 19.5 m。基于 Matlab 编程对滩涂湿地影像进行处理,计算滩涂湿地面积,结果见表 1。其中实际值为人工统计数据,对比值为同时期无云雾干扰下的遥感影像滩涂湿地面积计算值。由于本试验主要为了区分云雾干扰下的水体和滩涂湿地,只进行一级分类即可满足精度要求,因此可利用 ERDAS 软件的监督分类功能,将影像分成滩涂湿地、水体、陆地 3 大类,分类结果见图 4。结果表明:(1) 云雾干扰下的滩涂湿地计算值与实际统计值偏差为 4.52%; (2) 同期无云雾干扰下的滩涂湿地计算值与实际统计值偏差为 2.61%。试验结果表明,去除云雾后的计算数据与同期无云雾干扰下的计算数据相差 0.22,占实际统计面积的 1.91%,两者差异不大,满足精度要求。

表 1 滩涂湿地面积计算

区域	滩涂湿地面积 (km^2)	与实际值偏差 (%)
试验	12.02	4.52
对比	11.80	2.61
实际	11.50	

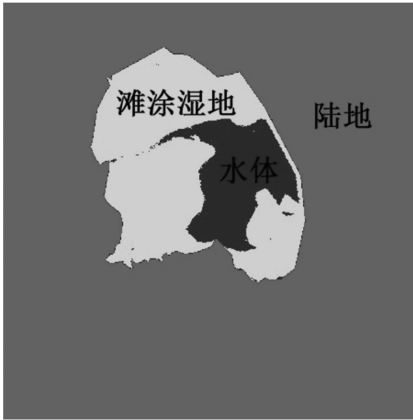


图4 监督分类结果

4 结论

本研究提出了滩涂影像有效信息识别方法,为了提高云雾噪声弱化的实时性,在同态滤波的基础上提出了小波变换理念,先在理论上分析了该算法的可行性,充分利用了小波变换的多尺度、空域、频域整体的分析特性,用于弱化云雾噪声,增强滩涂湿地区域的细节信息。针对实际的滩涂湿地遥感影像,本方法能达到在较好去除云雾效果的同时保证滩涂影像不被损坏,获得可靠的滩涂湿地信息。经过多次试验发现,影响滩涂湿地影像识别的最主要因素是照度、反射度、截止系数 3 个参数,其参数值依据不同滩涂影像的实际情况来选取。在实际应用中,依赖人机交互的方式进行选择,由于不同试验者视觉差异,使得获得试验处理结果有一定偏差,如何实现自适应选取参数还需进一步研究。

宋 伟,徐雪丽. 超声波诱导过碳酸钠降解有机磷农药[J]. 江苏农业科学,2014,42(9):307-309.

超声波诱导过碳酸钠降解有机磷农药

宋 伟,徐雪丽

(南阳理工学院/生物与化学工程学院,南阳 473004)

摘要:为选择理想的有机磷农药降解方法,采用不同条件的超声波诱导过碳酸钠的方法对甲基对硫磷、氧乐果、乐果 3 种有机磷农药的降解效果进行比较,获得了适宜的工艺参数:超声波频率 40 kHz,过碳酸钠加入量 20 mg,pH 值 10,降解温度 40 ℃,降解 30 min 时,可处理 50 mL 初始浓度为 10 μg/mL 的有机磷农药,3 种农药的降解率都超过 95%。表明该方法降解有机磷农药时间短,降解率高。

关键词:过碳酸钠;有机磷农药;降解;超声波;工艺参数

中图分类号: X592 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)09-0307-03

有机磷农药是目前世界上生产和使用最多的农药种类之一,由于其对农作物主要害虫有较为理想的防治效果,在生产中广泛应用。有机磷农药在环境中降解慢,残留时期长,因而随之而来的农药残留问题也引起了社会的高度关注^[1]。有机磷农药的废水处理大多采用生化法、光催化法、化学氧化降解法^[2-4]。但是该类农药的废水中含有对微生物有抑制作用且难降解的污染物,生化法处理后,废水中有机磷的含量仍较高。光催化处理需要水溶液透明才有利于光的吸收,而多数废水是浑浊的,还存在催化剂难回收等问题。化学氧化是降解有机磷农药的有效方法,不过成本高,可能产生新的污染物,且作用相对较慢^[5]。由于超声波技术在难降解有毒有机物的处理方面有独特的效果^[6-8],近年来,国内外纷纷致力于超声波应用于水污染控制的研究。过碳酸钠是一种由碳酸钠和过氧化氢以氢键形成的化合物,它稳定性好,易储存,无毒,作为 H₂O₂ 的来源广泛应用于洗涤剂工业。已有研究证实过碳酸钠对有机磷农药具有较好降解效果,因此可将其用于处

理有机磷农药溶液^[9-13]。本研究利用超声波诱导过碳酸钠降解有机磷废水,以有代表性的甲基对硫磷、氧乐果、乐果 3 种剧毒、高毒、低毒有机磷农药为材料,考察溶液 pH 值、降解温度、降解时间、过碳酸钠加入量、有机磷废水浓度等因素对降解效果的影响,以期获得快速、高效降解有机磷农药废水的方法。

1 材料与方法

1.1 仪器设备及试验药品

1.1.1 试验药品 甲醇,分析纯,北京北化精细化学品有限责任公司;氢氧化钠,分析纯,天津市德恩化学试剂有限公司;浓硫酸,分析纯,天津市德恩化学试剂有限公司;40% 氧乐果,郑州兰博尔科技有限公司;40% 乐果,江苏腾龙生物药业有限公司;50% 甲基对硫磷,山东华阳科技股份有限公司;过碳酸钠,自制。

1.1.2 试验仪器 BS-124S 型电子天平,北京赛多利斯仪器系统有限公司;721 型分光光度计,西安禾普生物科技有限公司;GW-1001 型超声波洗涤器,中山市广威超声设备有限公司。

收稿日期:2013-12-18

作者简介:宋 伟(1978—),男,吉林长春人,硕士,讲师,主要研究方向为化工环保与绿色有机合成。E-mail:song78wei@163.com。

参考文献:

- [1] 石文轩,吴敏渊,邓德祥. 遥感图像去云雾噪声的实现[J]. 光学精密工程,2010,18(1):266-272.
- [2] Morris J B, Lin F C, Pomet D A, et al. A homomorphic filtering method for imaging strongly scattering penetrable objects[J]. Antennas and Propagation, IEEE Transactions on, 1995, 43 (10): 1029-1035.
- [3] 张新明,沈兰荪. 基于小波的同态滤波器用于图像对比度增强[J]. 电子学报,2001,29(4):531-533.
- [4] 叶秋果,宗景春,李 钊,等. 基于同态滤波的遥感影像去云雾处理[J]. 海洋测绘,2009,29(3):45-46,57.
- [5] 郭 丽,闫 利,刘 宁. 小波同态滤波用于南极遥感影像阴影信息增强[J]. 测绘信息与工程,2007,32(4):6-7.
- [6] Gorgel P, Serbas A, Ucan O N. A wavelet-based mammographic image denoising and enhancement with homomorphic filtering[J]. Jour-

nal of Medical Systems, 2010, 34(6):993-1002.

- [7] 吴寿江,李 亮,宫本旭,等. GeoEye-1 遥感图像去雾霾方法比较[J]. 国土资源遥感,2012(3):50-53.
- [8] Yin J H, Chao G, Jia X P. Wavelet packet analysis and gray model for feature extraction of hyperspectral data[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2013, 10(4):682-686.
- [9] Fries R W, Modestino J W. Image enhancement by stochastic homomorphic filtering[J]. Acoustics, Speech and Signal Processing, IEEE Transactions on, 1979, 27(6):625-637.
- [10] 艾泽潭,石庚辰. 小波变换在图像去噪中的应用[J]. 科技导报,2010,28(1):102-106.
- [11] Černá D, Finěk V. Approximate multiplication in adaptive wavelet methods[J]. Central European Journal of Mathematics, 2013, 11(5):972-983.
- [12] 范有臣,李迎春,韩 意,等. 提升小波的同态滤波在图像烟雾弱化中的应用[J]. 中国图象图形学报,2012,17(5):635-640.