

小波分析在灰度遥感图像去云中的应用

江兴方^{1,2,3} 戴丽丽¹ 沈为民² 陶纯堪³

(¹ 江苏工业学院数理学院, 江苏 常州 213164; ² 苏州大学现代光学研究所, 江苏 苏州 215006)

³ 南京理工大学光电学院, 江苏 南京 210094

摘要 针对薄云覆盖的灰度遥感图像其清晰度低、难于判读地物信息等问题,提出了小波分析方法用于灰度遥感图像去云。以 256 pixel×256 pixel 的灰度遥感图像为例,进行 1~8 级分解,重构时对细节系数放大 1~10 倍,先选定小波函数确定图像信息熵取得最高时的分解级数为 7 和相应细节系数的放大倍数,再确定双正交 2.2 型小波和离散近似 Mery 小波,以 0.1 为步长的细节放大倍数作进一步分析。结果表明,分解的级数较低时,图像信息熵对细节系数放大倍数的依赖性很强;放大倍数为 1.1 时得到的图像其信息熵取得极大值;采用离散近似 Mery 小波,当放大倍数为 4.8 和 5.7 时还出现 2 个峰值。

关键词 图像处理; 图像增强; 小波分析; 近似系数; 细节系数; 去云

中图分类号 O438 **文献标识码** A **doi:** 10.3788/AOS2008258s2.0258

Application of Removing Cloud in Gray Remote Sensing Images with Wavelet Analysis

Jiang Xingfang^{1,2,3} Dai Lili¹ Shen Weimin² Tao Chunkan³

¹ School of Physics and Mathematics, Jiangsu Polytechnic University, Changzhou, Jiangsu 213164, China

² Modern Optics Institute, Soochow University, Soochow, Jiangsu 215006, China

³ School of Electronic Engineering & Optoelectronic Technology, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing, Jiangsu 210094, China

Abstract Because of cloud in remote sensing images, the images were fuzzy and the information of earth objects could not be read. A new method for removing cloud had been projected based on wavelet analysis. The 1~8 orders decomposition for several gray remote sensing images 256 pixel×256 pixel was implemented with wavelet analysis and the detail coefficients were multiplied with 1~10 times in the process of reconstruction. Firstly, the order 7 of decomposition and the times of detail coefficient had been selected by maxium entropy with selected wavelet function. Secondly, the functions of bi-orthogonal 2.2 wavelet and discrete approximation of Mery wavelet had been found by maxium entropy with selected order number and times. Finally, the exact order number and times had been shown in the curves of 1~8 orders decomposition and the times from 1 to 10 with 0.1 step length. The results show that the times 1.1 was best times for removing cloud from remote sensing images with thin cloud, and for discrete approximation of Mery wavelet there were two peaks in the times as 4.8 and 5.7.

Key words image processing; image enhancement; wavelet analysis; approximation coefficient; detail coefficient; removing cloud

1 引 言

在成像过程中由于大气中云的存在,在获取图像数据时往往连同云噪声一起记录下来,特别是工作在可见光波段的卫星图像和航空图像,云噪声影

响了数据的质量及其应用效果。云对可见光和红外辐射传输能量影响较大,时空变化范围广且难以确定,它影响图像中目标的识别、图像的分类、地物信息提取的精度,甚至造成错误的结果,严重影响到遥

基金项目: 江苏省现代光学技术重点实验室开放课题(KJS0730)和江苏工业学院科技基金(SCZ07043118H)资助课题。

作者简介: 江兴方(1963—),男,博士,副教授,主要从事光学工程和多媒体物理教育方面的研究。

E-mail: xfjiang@jpu.edu.cn

感数据的判读、分析和使用。常见的去除薄云的方法^[1]有多光谱图像法、多幅图像插值法、数据融合法和同态滤波法。对于一幅某一地区某一特定时间的单波段遥感图像,前三种方法不适用,且实施去云还出现明显的边缘。同态滤波法本质上通过取对数和傅里叶变换后,相乘的运算变成相加的运算,再用高通滤波的方法提取高频成分,抑止低频的成分,但去除云噪声结果不理想。

小波分析继承了傅里叶分析时频局域化的思想,同时也克服了时频窗口大小不随时间变化的缺点,它采用了多分辨率分析^[2]。在遥感图像中,云噪声是相对低频的成分,而景物是相对高频的成分,因此采用小波分析方法将遥感图像中云噪声与景物信息分开是有可能的。由多分辨率分析,小波变换后将一维数字信号分解成近似系数与细节系数,低一级的近似系数又可分解成较高级的近似系数和细节系数。对于二维图像来说,经过一次小波变换得到 1 幅“光滑”子图像和 3 幅“细节”子图像,分别与近似系数和细节系数相对应^[3]。本文提出了小波分析方法用于灰度遥感图像去云。

2 小波分析

在一维情形下的小波函数 $\psi(x)$ 和尺度函数 $\phi(x)$ 满足:

$$\int \psi(x) dx = 0, \quad \int \phi(x) dx = 1, \quad (1)$$

对于一维离散型,通过伸缩因子 2^j 和平移因子 $2^j k$ 后得到一族尺度函数 Φ 和一族小波函数 Ψ :

$$\Phi = \left\{ \phi_{j,k} = \frac{1}{\sqrt{2^j}} \phi\left(\frac{t-2^j k}{2^j}\right), \quad j, k \in \mathbf{Z} \right\}, \quad (2)$$

$$\Psi = \left\{ \psi_{j,k} = \frac{1}{\sqrt{2^j}} \psi\left(\frac{t-2^j k}{2^j}\right), \quad j, k \in \mathbf{Z} \right\}, \quad (3)$$

在离散正交小波分解过程中,近似系数逐级向下分解,能得到更低尺度下的近似系数和细节系数,其中细节系数代表了连续两个不同尺度上的近似系数的差。对于二维数字图像,二维离散变量表示为 $a^0 = \{a_{nm}^0\} (0 \leq n \leq N-1, 0 \leq m \leq M-1)$, J 为分解尺度,则其正交小波分解结果为

$$\begin{aligned} a^J &= \{a^J, \{^1 d^J, ^2 d^J, ^3 d^J\}, \\ &\quad \{^1 d^{J-1}, ^2 d^{J-1}, ^3 d^{J-1}\}, \dots, \\ &\quad \{^1 d^1, ^2 d^1, ^3 d^1\}^T, \end{aligned} \quad (4)$$

式中 a^J 为 a^0 在 J 尺度下的近似系数, $a^J = \{a_{nm}^J\} (0 \leq n \leq 2^{-J}N-1, 0 \leq m \leq 2^{-J}M-1)$, $^t d^j$ 为 j 尺度下的细节系数, $^t d^j = \{^t d_{nm}^j\}^T (t = 1, 2, 3, \dots,$

$1 \leq j \leq J)$, a^0 和 $^t d^j$ 可用 Mallat 算法进行迭代计算:

$$\begin{aligned} a_{nm}^j &= \sum_k \sum_l h(k-2n)h(l-2m)a_{kl}^{j-1}, \\ ^1 d_{nm}^j &= \sum_k \sum_l h(k-2n)g(l-2m)a_{kl}^{j-1}, \\ ^2 d_{nm}^j &= \sum_k \sum_l g(k-2n)h(l-2m)a_{kl}^{j-1}, \\ ^3 d_{nm}^j &= \sum_k \sum_l g(k-2n)g(l-2m)a_{kl}^{j-1}, \end{aligned} \quad (5)$$

式中

$$\begin{aligned} h(k-2n) &= \langle \phi_n^j(x), \phi_k^{j-1}(x) \rangle, \\ g(k-2n) &= \langle \psi_n^j(x), \phi_k^{j-1}(x) \rangle, \\ h(l-2m) &= \langle \phi_m^j(y), \phi_l^{j-1}(y) \rangle, \\ g(l-2m) &= \langle \psi_m^j(y), \phi_l^{j-1}(y) \rangle. \end{aligned}$$

3 遥感图像的小波分析去云法

由于云噪声处于低频成分区域,景物相对处于高频成分区域,因此小波分析后得到的细节较多地包含在景物信息中,因此在重构图像时需增大细节信息,而削弱“光滑”子图像的信息来抑制云噪声的再现。在不确定增大细节系数具体倍数的情况下,拟定以下几步。

3.1 选择小波函数确定较好的分解级数

信息熵反映了图像的信息量,其值越大,信息越丰富,根据香农(Shannon)信息论的定义^[4,5],一幅灰度范围为 0~255 的图像,信息熵表示为

$$E = - \sum_{i=0}^{255} P_i \lg P_i, \quad (6)$$

式中 P_i 为图像中灰度值为 i 的像素个数占总像素的比例。图 1(a)、图 1(b)是二幅含有薄云覆盖的图像。实验进行 1~8 级分解,对每一级分解出来的细节分别乘以 1~10 倍,步长为 1,得到一系列的增强图像,以信息熵作为判据,其数值大于 7 则图像质量较好,如表 1 所示。显然分解级数选取 6,7,8 为最佳。

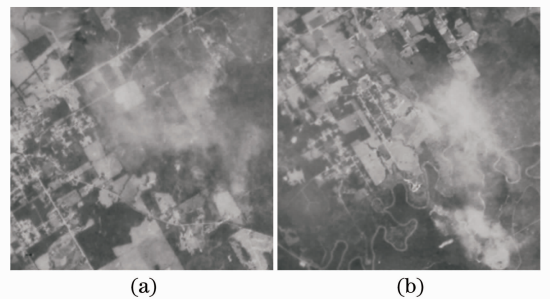


图 1 实验例图

Fig. 1 Experimental images

表 1 分解级数与信息熵关系

Table 1 Relation of the orders number of decomposition and entropy

Orders	1	2	3	4	5	6	7	8
Number ($E > 7$)	4	2	2	2	13	18	18	18

3.2 选择分解级数确定较好的细节系数权重

对实验例图采用小波分析,分解级数为 1~8,每一级细节系数放大 1~10 倍,如表 2,列出了不同的细节系数放大倍数与信息熵大于 7 的增强图像个数。

表 2 细节系数放大倍数与信息熵的关系

Table 2 Relataion of the multipling times of detail coefficients and entropy

Times	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Number ($E > 7$)	0	16	10	8	8	7	7	7	7	7

显然细节系数放大倍数选取 2 左右为最佳。对于图 1(a),当小波分解级数为 7 和 8,细节系数放大倍数为 2 时,信息熵分别是 7.3942 和 7.3579。对于图 1(b),当小波分解级数为 7 和 8,细节系数放大倍数为 2 时,信息熵分别是 7.6026 和 7.6119。

3.3 选择分解级数和细节系数放大倍数确定小波函数

以图 1(a)、图 1(b)为例,选择分解级数为 7,细节系数放大倍数为 2,采用双正交系列小波、Daubechies

系列小波、反双正交系列小波、“symlets”系列小波、离散近似 Mery 小波进行分解。

实验结果表明,以离散近似 Mery 小波增强后得到的图像信息熵平均值为 7.5044,以双正交 2.2 型小波增强后得到的图像信息熵平均值为 7.5038。

3.4 对不同层数细节系数不同倍数的图像信息熵比较

选定双正交 2.2 型小波与离散近似 Mery 小波进行变换,并且以分解级数 1~8,每一级细节系数放大倍数从 1.0~10.0,步长为 0.1 进行图像增强,实施去云研究。对图 1(a)分别采用双正交 2.2 型小波与离散近似 Mery 小波分解增强后的图像信息熵曲线如图 2(a)、图 2(b)所示,相应的去云图像如图 4(a)、图 4(b)所示。图 4(a)分解级数为 7,细节放大倍数为 1.1,相应的图像信息熵为 7.4317;图 4(b)的分解级数为 7,细节放大倍数为 1.1,相应的图像信息熵为 7.4328。对图 1(b)分别采用双正交 2.2 型与小波离散近似 Mery 小波分解增强后的图像信息熵曲线如图 3(a)、图 3(b)所示,相应的去云图像如图 4(c)、图 4(d)所示。图 4(c)、图 4(d)中的分解级数和细节放大倍数分别与图 4(a)、图 4(b)的图像相同,但图 4(c)的图像信息熵为 7.6781,图 4(d)的图像信息熵为 7.6721。

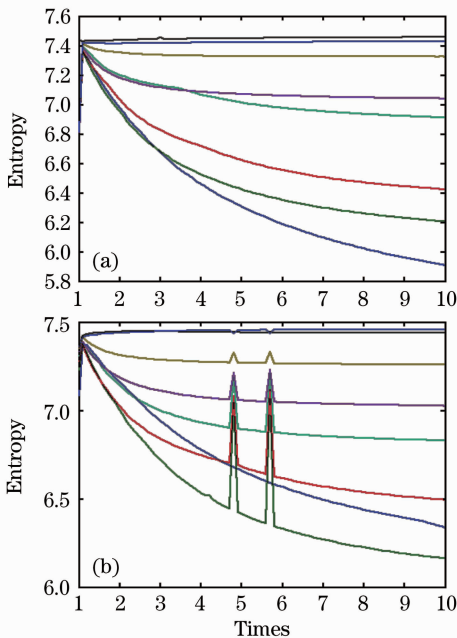


图 2 对图 1(a)采用双正交 2.2 型小波(a)和离散近似 Mery 小波(b)去云增强后图像信息熵曲线

Fig.2 Entropy curves of Fig. 1 (a) for removing cloud by bi-orthogonal wavelet (a) and discrete approximation of Mery wavelet (b)

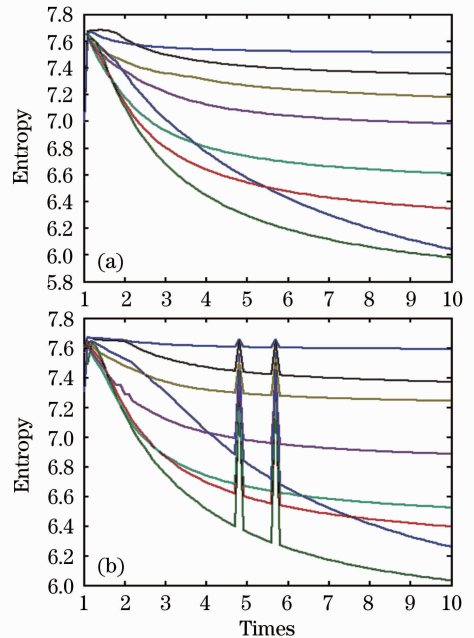


图 3 对图 1(b)采用双正交 2.2 型小波(a)和离散近似 Mery 小波(b)去云增强后图像信息熵曲线

Fig.3 Entropy curves of Fig. 1 (b) for removing cloud by bi-orthogonal wavelet (a) and discrete approximation of Mery wavelet (b)

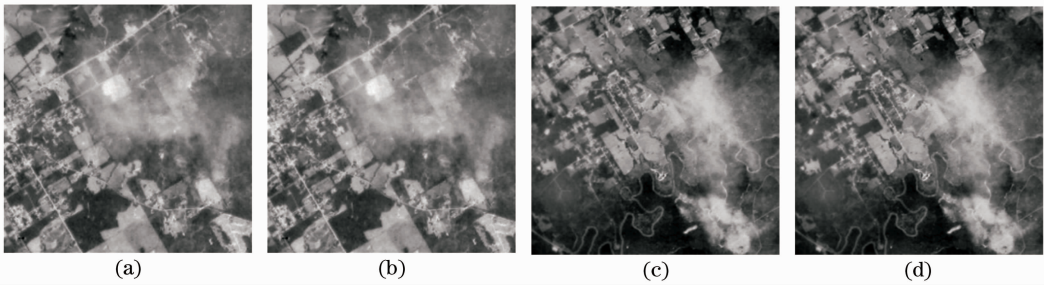


图4 采用双正交 2.2 型小波(a),(c)和离散近似 Mery 小波(b),(d)去云增强后的图像。(a),(b)对应图 1(a), (c),(d)对应图 1(b)

Fig. 4 Enhanced images for removing cloud by bi-orthogonal wavelet (a), (c) and discrete approximation of Mery wavelet (b), (d). (a), (b) Fig. 1(a); (c), (d) Fig. 1(b)

4 结 论

在采用小波分析法实施去云的过程中,得到一般性结论:

1) 采用离散近似 Mery 小波和双正交 2.2 型小波,增强后的图像其信息熵最大,且以不同的分解级数和不同的细节放大倍数,得到的图像其信息熵先上升后下降;小波分解的级数越低,细节乘以不同的倍数得到的图像其信息熵关于放大倍数的依赖性越大,呈现出放大倍数为 1.1 时得到的增强图像其信息熵取得极大值。

2) 采用离散近似 Mery 小波,以不同的分解级数和不同的细节放大倍数得到的图像,图像信息熵总体上随细节放大系数增大时先上升后下降,但在 4.8 和 5.7 倍时出现 2 个峰值。

参 考 文 献

- 1 Zhang Yongsheng, Dai Chenguang, Zhang Yunbin *et al.*. *Information Fusion of Multi-Source Remote Sensing Based Sky* [M]. Beijing: Science Press, 2005. 149
张永生, 戴晨光, 张云彬 等. 天基多源遥感信息融合[M]. 北京: 科学出版社, 2005. 149
- 2 Stephane Mallat. *A Wavelet Tour of Signal Processing* [M]. Beijing: China Machine Press, 2003. 332~372
- 3 Paul Arellano. Missing information in remote sensing: wavelet approach to detect and remove clouds and their shadows[D]. International Insistute of Information Science and Earth Observation, Enschede, 2003. 15
- 4 Tao Chuncan, Tao Chunksuang. *The Theory of Optical Information* [M]. Beijing: Science Press, 2004. 20
陶纯堪, 陶纯匡. 光学信息论[M]. 北京: 科学出版社, 2004. 20
- 5 Jiang Xingfang, Pan Guowei, Tao Chuncan. A method based on spline curve for eliminating cloud in remote sensing image[J]. *Laser Technology*, 2007, **31**(6): 581~583
江兴方, 潘国卫, 陶纯堪. 基于样条曲线的一种遥感图像去云方法[J]. 激光技术, 2007, **31**(6): 581~583