

基于正交小波变换和伪彩色的遥感图像增强

王智文^{1,2}, 李绍滋², 刘美珍³, 周健⁴

(1. 广西工学院 计算机工程系, 广西 柳州 545006; 2. 厦门大学智能科学与技术系, 福建 厦门 361005;
3. 广西工学院 图书馆, 广西 柳州 545006; 4. 中南林业科技大学机电学院, 湖南 长沙 410004)

摘要: 针对基于正交小波分析的图像增强技术一般只适用于黑白图像; 而伪彩色处理技术不能够充分处理图像中某些细节信息的缺陷, 提出了基于正交小波分析和伪彩色的遥感图像增强处理方法; 实验结果表明, 增强后的遥感图像无论在视觉效果上还是在噪声特性上都有了很大的改善; 该方法简便易行且计算量小, 在应用中有较大的灵活性; 该方法还具有运算速度快和可操作性强等特点, 在遥感图像增强研究方面具有广泛的应用前景。

关键词: 正交小波变换; 遥感图像处理; 伪彩色处理; 图像增强; 信息熵; 清晰度

Remote Sensing Image Enhancement Based on Orthogonal Wavelet Transformation and Pseudo-color Image Processing

Wang Zhiwen^{1,2}, Li Shaozi¹, Liu Meizhen³, Zhou Jian²

(1. Department of Computer Engineering, Guangxi University of Technology, Liuzhou 545006, China;
2. Cognitive Science Department, Xiamen University, Xiamen 361005, China;
3. Library of Guangxi University of Technology, Liuzhou 545006, China;
4. College of Mechanical & Electrical Engineering, Centre South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China)

Abstract: Image enhancement technique based on wavelet analysis is only applicable to black- and- white image, and pseudo- color image processing technology can not adequately deal with some of the details information of the image. In this paper, enhancement approach of remote sensing image based on orthogonal wavelet analysis and pseudo- color image processing is put forward. Enhanced remote sensing image have been greatly improved in both visual effects and noise characteristics. The method is simple to implement, and need less calculation, and its application is more flexible. This method also has the characteristics of faster computing speed and operating feasibly and so on. It has broad application prospects in research of remote sensing image enhancement.

Key words: orthogonal wavelet transformation; remote sensing image processing; pseudo- color image processing; image enhancement; entropy; definition

0 引言

遥感作为一门先进的探测技术, 已在军事侦察、目标监视、打击或毁损效果评估、农作物长势监测、粮食估产、土地利用调查、地表资源普查、灾情监测、地质找矿、石油勘探、天气预报、地形测绘及海洋应用等诸多领域广泛应用, 产生了巨大的经济和社会效益, 展现了广阔的应用前景^[1]。在获取和传输遥感图像的过程中, 遥感图像信号不可避免地会丢失一些细节, 为了便于对图像进行直观解释, 对图像中的物体的外观可以通过图像增强技术改进, 如: 用灰度扩展来提高图像的对比度和空间滤波来增强图像的边缘。因此有必要对遥感图像进

行增强处理。基于小波分析的遥感图像增强技术是新近发展起来的图像增强技术^[2], 它将遥感图像置于空频域中, 对感兴趣的部分进行空频处理, 但此技术一般只适用于黑白遥感图像; 而伪彩色处理技术可以将黑白遥感图像转化为彩色遥感图像, 它也是传统的图像增强技术之一。由于人眼对彩色遥感图像的分辨率要高于灰度遥感图像, 因而可通过遥感图像的伪彩色处理来提高分辨率, 但此技术还不能够充分处理遥感图像中某些细节信息。本文在这两种技术的基础上, 提出基于小波分析和伪彩色的遥感图像增强处理方法, 它的基本思想是先对遥感图像进行小波分析, 待加强图像细节后, 再对遥感图像进行伪彩色增强处理, 以提高遥感图像的判读精度。

1 图像的正交小波变换

许多图像处理与分析技术已经发展起来用于解释遥感图像和从图像中提取尽可能多的有用信息。选择具体的技术或算法取决于每一个工程要达到的目标。本文为了实现遥感图像增强, 利用图像的正交小波变换对图像进行变换处理^[3-4]。

假设 $S_{0,l}^0$ 为尺度空间剩余尺度系数系列, h_0 和 h_1 分别为正交小波函数的低通滤波器和高通滤波器系数, 这两组系数对任意尺度而言都是恒定的, 这样正交小波变换的快速分解可以表示为如图 1 所示。其中:

收稿日期: 2010-01-15; 修回日期: 2010-02-23。

基金项目: 国家自然科学基金项目(60873179); 广西教育厅科研项目(200707LX196)。

作者简介: 王智文(1969), 男, 湖南邵阳人, 副教授, 博士研究生, 主要从事智能优化理论与图像处理方向的研究。

李绍滋(1963-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事人工智能及其应用、自然语言处理与多媒体信息检索、运动目标检测与识别、机器学习与计算机视觉、网络多媒体及 CSCW 技术、智能中医信息处理等方向的研究。

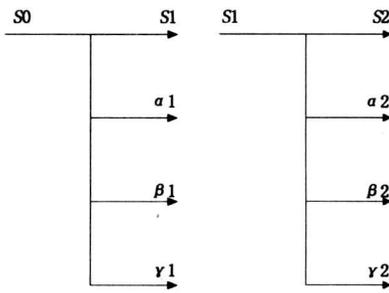


图 1

$$\begin{aligned}
 s_{i,l}^j &= \sum_{k,n} h_0(k-2i)h_0(m-2l)s_{k,m}^{j-1} \\
 \alpha_{i,l}^j &= \sum_{k,n} h_1(k-2i)h_0(m-2l)s_{k,m}^{j-1} \\
 \beta_{i,l}^j &= \sum_{k,n} h_0(k-2i)h_1(m-2l)s_{k,m}^{j-1} \\
 \gamma_{i,l}^j &= \sum_{k,n} h_1(k-2i)h_1(m-2l)s_{k,m}^{j-1}
 \end{aligned} \quad (1)$$

由图 1 可知, 原始图像在一个尺度下的边缘轮廓可以分解为更小尺度下的低频分量、水平高频分量、垂直高频分量和对角分量 4 个部分, 它们是分别经过 4 个不同滤波器得到的代表原始图像的不同信息, 其中 $s_{i,l}^j$ 是 $s_{i,l}^{j-1}$ 经过行与列两个方向上的低通滤波器获得的, 它对应于 $s_{i,l}^j$ 在下一尺度上的边缘轮廓信息; $\alpha_{i,l}^j$ 是 $s_{i,l}^{j-1}$ 经过行方向上的高通滤波器和列方向上的低通滤波器获得的, 它对应于 $s_{i,l}^{j-1}$ 水平方向上的细节信息在垂直方向上的概况; 同理, $\beta_{i,l}^j$ 表示 $s_{i,l}^j$ 垂直方向上的细节信息在水平方向上的概况; $\gamma_{i,l}^j$ 表示 $s_{i,l}^j$ 对角方向上的细节信息。图像经二维正交小波变换分解之后, 分别得到图像的低频分量、水平高频分量、垂直高频分量和对角分量。图 2 为图像经过三层正交小波分解图, 其中 C_3 为图像的低频部分, 图像的大部分能量都集中在这一区域, $D_j^\lambda (j = 1, 2, 3; \lambda = h, v, d)$ 分别为水平、垂直与对角分量, 它们都是图像的细节信息部分。

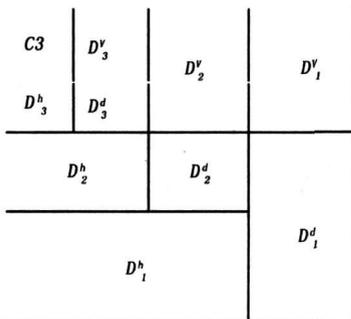


图 2 图像的三层小波分解图

2 基于正交小波变换的遥感图像增强处理

由于遥感图像信号在各层相应位置上的小波系数之间往往具有很强的相关性, 而噪声的小波系数则具有弱相关或不相关的特点。首先利用小波变形插值对遥感图像信号进行去噪处理, 可以得到较好去除噪声的效果。然后运用正交小波变换将一幅图像分解为大小、位置

和方向都不同的分量, 在做逆变换之前可以改变小波变换域中某些系数的大小, 这样就可以有选择地放大对图像中感兴趣的分量而衰减对图像处理结果影响不大的分量。正交小波分析方法是一种空间窗和频率窗都可作自适应改变、空频局部化分析方法^[5-7], 它与传统的傅里叶分析方法相比, 具有更好的空频窗口特性。

二维多尺度离散正交小波分析定义为:

$$\begin{cases}
 S_j f(n, m) = \iint_{R^2} f(x, y) 2^{2j} \Phi_j(x - 2^{-j}n, y - 2^{-j}m) dx dy \\
 W_j^1 f(n, m) = \iint_{R^2} f(x, y) 2^{2j} \Psi_j^1(x - 2^{-j}n, y - 2^{-j}m) dx dy \\
 W_j^2 f(n, m) = \iint_{R^2} f(x, y) 2^{2j} \Psi_j^2(x - 2^{-j}n, y - 2^{-j}m) dx dy \\
 W_j^3 f(n, m) = \iint_{R^2} f(x, y) 2^{2j} \Psi_j^3(x - 2^{-j}n, y - 2^{-j}m) dx dy
 \end{cases} \quad (2)$$

式中, $f(x, y)$ 为图像信号; $S_j f(n, m)$ 是 $f(x, y)$ 的低频分量; $W_j^1 f(n, m)$ 、 $W_j^2 f(n, m)$ 、 $W_j^3 f(n, m)$ 分别代表 $f(x, y)$ 的垂直、对角和水平高频分量^[8]。

由此可见, 经过二维离散正交小波分析后, 图像被分为低频分量和垂直、对角和水平 3 个高频分量。由于低对比度图像主要表现在 3 个高频分量偏小, 造成图像细节模糊, 因此适当增加 3 个高频分量, 可以增强图像细节信息。于是, 当式 (3) 成立时, 即高频分量权重较大时, 图像看起来较清晰。

$$C_j^k = \begin{cases} k \times C_j^k, & k > 1 \\ C_j^k & \end{cases} \quad (3)$$

这里 C_j^k 为高频小波系数; C_j^1 为低频小波系数; k 为高频分量权重; j 为小波分解层数。但采用本方法后, 由于增强了高频分量, 因而所得图像常常会偏亮, 其对比度较差, 所以还需用伪彩色处理来进一步增加图像的分辨率。

3 图像的伪彩色增强处理

本文采用频率域伪彩色增强法对图像进行伪彩色处理, 先把黑白遥感图像经傅立叶变换到频率域, 在频率域内 3 个不同传递特性的滤波器分离成 3 个独立分量, 然后对它们进行逆傅立叶变换, 便得到 3 幅代表不同频率分量的单色图像, 接着对这 3 幅图像作进一步的处理 (如直方图均衡化), 最后将它们作为三基色分量分别加到彩色显示器的红、绿、蓝显示通道, 从而实现频率域分段的伪彩色增强^[9-12]。其框图如图 3 所示。

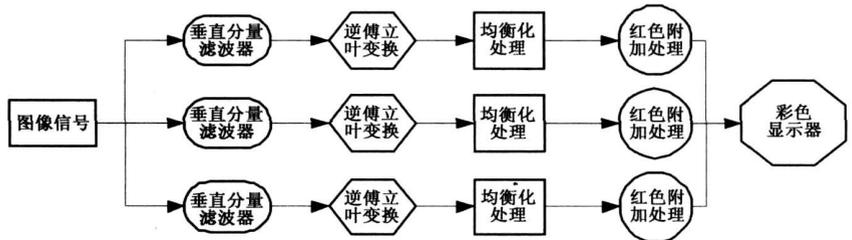


图 3 频域滤波法实现伪彩色处理的示意图

4 实验结果与分析

采用本文提出基于正交小波分析和伪彩色的遥感图像增强

处理方法对黑白遥感图像进行处理，仿真实验结果如图 4 所示。其中，(a) 是待处理的原始图像，它是某地区的遥感图像，该图像的背景较暗，部分区域模糊不清；(b) 是运用小波分析方法得到的增强图像，它比原始图像分辨率高，但图像增强效果仍不太理想；(c) 是运用传统的伪彩色增强的方法得到的增强图像，图像分辨率提高了，但有些地方由于灰度值差别不大，使色彩相近的区域分辨效果不好；(d) 是用本文提出方法得到的图像，它是在小波分析和改进的伪彩色方法共同处理后的增强图像。从中不难看出，图像的层次感比 (c) 图增强。

在用小波分析图像时，小波分解层数 L 要尽量多一些，这样高频系数中包含的细节才丰富；高频分量权重 k 值的选取要根据图像特点而定， k 值不能取得太小，以免图像细节欠丰富， k 值不能取得太大，以免产生噪声。本实验中，小波基选用 sym4，分解层数 L 为 3， k 值为 5。

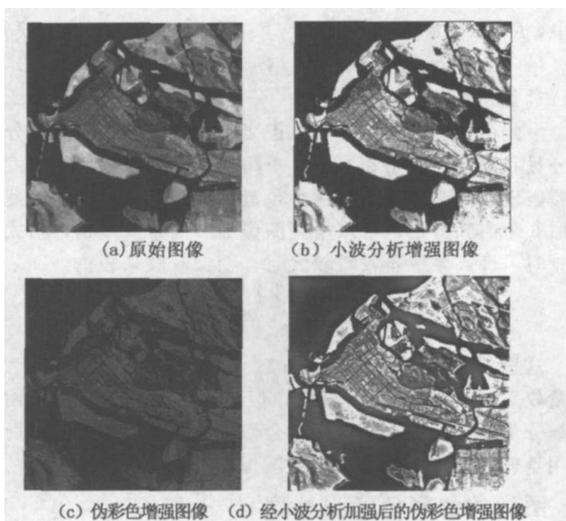


图 4 增强结果比较

由于获取彩色遥感图像过程中存在许多干扰因素，获取的彩色遥感图像可能存在某些细节模糊。如图 5 中由于在传感器获取图像的领域内太阳光在大气中发生散射，获得的图像到处存在着灰暗的阴影，使得图像模糊。为了能够使用本文提出的方法对图像进行增强，我们先根据图像的光谱特征对图像进行分级，分级图如图 6 所示；然后利用本文提出的方法对图像进行增强，增强后的图像如图 7 所示。

本文通过计算遥感图像的均值、信息熵和清晰度来对遥感图像增强效果进行定量方面评价。利用式 (4) 来计算遥感图像的均值。

$$mean = \frac{1}{XY} \sum_{x=1}^X \sum_{y=1}^Y I_e(x, y) \quad (4)$$

式中， I_e 为增强后的结果图像， (X, Y) 为遥感图像大小。对于一幅遥感图像来说，均值反映了遥感图像的平均亮度。如果均值适中（灰度值 128 在附近），则表明视觉效果良好。

信息熵的计算定义如下：

$$Ent = - \sum_{i=0}^{L-1} p_i \ln(p_i) \quad (5)$$

式中， p_i 为遥感图像的灰度级 GNL_i 对应的概率； L 为灰度级

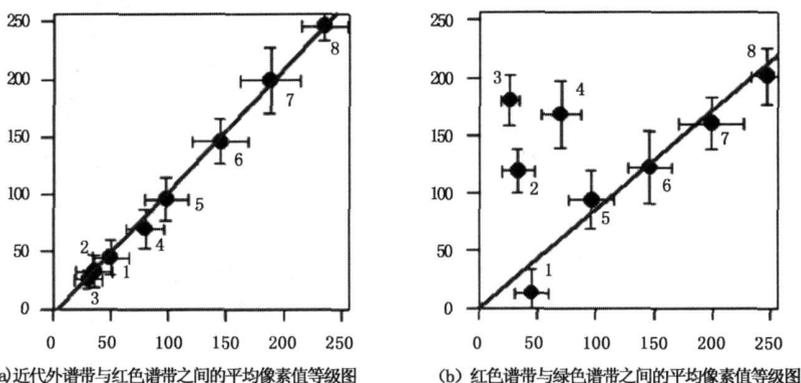


图 6 原始彩色遥感图像平均像素值分级图

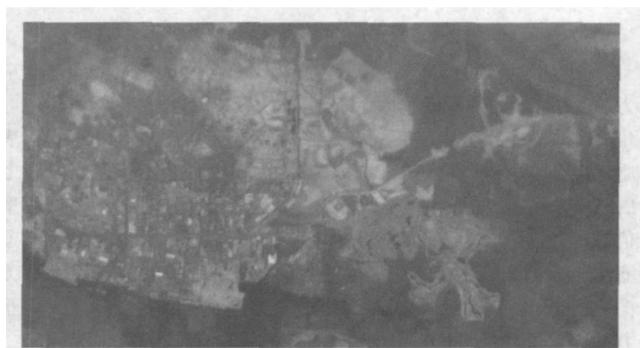


图 5 原始彩色遥感图像



图 7 采用本文方法增强后的图像

总数； $i \in (0, 1, \dots, L-2, L-1)$ 。熵值越大，反映了遥感图像携带的信息量越多，因此信息熵是衡量遥感图像信息丰富程度的一个重要指标。

遥感图像的清晰度可以用式 (6) 来计算：

$$\left\{ \begin{aligned} Def &= \frac{1}{XY} \sum_{x=1}^X \sum_{y=1}^Y \sqrt{(\Delta I_x(x, y))^2 + (\Delta I_y(x, y))^2} \\ \Delta I_x(x, y) &= I_e(x, y) - I_e(x-1, y) \\ \Delta I_y(x, y) &= I_e(x, y) - I_e(x, y-1) \end{aligned} \right. \quad (6)$$

清晰度可以反映出图像中的微小细节反差和纹理变换特征。清晰度值越大，说明对应的图像越清晰。3 种算法增强后

黑白遥感图像的均值, 信息熵和清晰度如表 1 所示。3 种算法增强后彩色遥感图像的 RGB 各个通道的均值, 信息熵和清晰度如表 2 所示。

表 1 增强后的黑白遥感图像的均值、信息熵和清晰度

方法	伪彩色 图像增强	正交小波变换的 遥感图像增强	本文方法遥 感图像增强
均值	105	95	132
信息熵	4.9	5.3	6.4
清晰度	30	43	50

表 2 增强后的彩色遥感图像的均值、信息熵和清晰度

方法	伪彩色 图像增强			正交小波变换的 遥感图像增强			本文方法遥 感图像增强		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
均值	105	96	92	85	76	76	130	122	109
信息熵	5.0	4.9	4.8	5.2	5.1	5.1	5.6	5.5	5.5
清晰度	30	29	29	36	35	35	45	44	44

5 结束语

针对基于小波分析的图像增强技术一般只适用于黑白图像; 而伪彩色处理技术不能够充分处理图像中某些细节信息的缺陷, 本文提出基于小波分析和伪彩色的遥感图像增强处理方法。从实验的结果可以看出, 应用本文算法的全色遥感图像的增强视觉效果良好, 均值可达到了 132, 信息熵比伪彩色增强算法高出 15% ~ 52%, 比正交变换域小波为代表的算法高 20% 左右; 而清晰度比伪彩色算法高出 30% ~ 60%, 比正交变换域小波算法高出 17% 左右。增强后的遥感图像无论在视觉效果上还是在噪声特性上都有了很大的改善。提出的基于正交小波分析和伪彩色的遥感图像增强处理方法简便易行, 计算量小, 在应用中有较大的灵活性。该方法还具有运算速度快, 可操作性强等特点, 在遥感图像增强方面具有广泛的应用前景。

参考文献:

- [1] 朱述龙, 朱宝山, 王红卫. 遥感图像处理与应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [2] Tong Xiaohua, Zhang Xue, Liu Miaolong. Neural Network Classification with Optimization by Genetic Algorithms for Remote Sensing Imagery [J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2008, 7: 985-989.
- [3] 王智文, 刘美珍, 蔡启先, 等. 基于加权改进小波变换的图像融合算法 [J], 计算机工程, 2009, 35 (11): 228-230.
- [4] Jon Atli Benediktsson, Martino Pesaresi and Kolbeinn Arnason, Classification and Feature. Extraction for Remote Sensing Images from Urban Area Based on Morphological Transformations [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2003, 41 (9): 1940-1949.
- [5] Rahman Z, Jobson D J, Woodell G A. Retinex Processing for Automatic Image Enhancement [J]. Journal of Electronic Imaging, 2004, 13 (1): 100-110.
- [6] 王智文, 刘美珍, 蔡启先, 等. 基于小波变换的数字图像自适应盲水印算法及实现 [J], 计算机测量与控制, 2009, 17 (11): 2273-2275.
- [7] Shujun Fu, Qiuqi Ruan, Wenqia Wang, et al. Feature-oriented fuzzy bidirectional flow for image enhancement [J]. Chinese Optics Letters, 2006, 4 (3): 155-157.
- [8] Xie Meihua, Wang Zhengming. Anisotropic nonlinear diffusion approach to single image resolution enhancement [J]. Opto-electronics Letters, 2005, 1 (2): 144-147.
- [9] Zhang Zhenhai, Li Kejie, Gao Junyao, et al. Research and Implementation of Algorithm for Image Enhancement and Unwrapped Distortion Correction for SLVF Panoramic Night Vision Image [J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 2008, 17 (4): 423-428.
- [10] FU Shujun, RUAN Qiuqi, WANG Wenqia, et al. Region-based Anisotropic Diffusion with Soft Shock Filter for Adaptive Image Enhancement [J]. Chinese Journal of Electronics, 2008, 17 (1): 56-58.
- [11] Wei Wei, Sun Jian. Color AC-PDP Enhancement of Low Levels Image Quality With Dynamic Modifying Sub-Fields Code [J]. Academic Journal of Xi'an Jiaotong University, 2006, 18 (2): 126-130.
- [12] Zhiwen Wang, Shaozi Li, Qixian Cai, Songzhi SU, Meizhen LIU. Multi-spectrum Image Fusion Algorithm Based on Weighted and Improved Wavelet Transform [A]. 2009 IEEE International Conference on Intelligent Computing and Intelligent Systems (ICIS 2009) [C]. 2009: 63-66.
- [13] Douglas R. F. Chaotic Digital Encoding: An approach to Secure Communication [J], IEEE Trans. on circuit and system II, 1993, 40 (10): 660-666.
- [14] L. O. Chua, T. Lin, Chaos in digital filters [J]. Trans. on circuit and system II, 1988, 40 (6): 648-658.
- [15] 罗杰, 周红, 凌雯亭. 整数运算下非线性数字滤波器的混沌特性 [J]. 复旦学报, 1996, 35 (5): 487-495.
- [16] 夏惊雷, 张申如. 平衡型 PN 序列的一种构造方案 [J]. 现代军事通信, 2003, 1: 33-35.
- [17] Lempel A, Ziv J. On the complexity of finite sequences [C]. IEEE Trans. Inf. Theory, 1976, IT-22 (1): 75-81.
- [18] M. Abov, R. Hornero, D. Ab solo, et al. Interpretation of the lempel-ziv complexity measure in the context of biomedical signal analysis [A]. IEEE Trans. Biomed. Eng [C]. 2006, 53 (11): 2282-2288.

(上接第 1601 页)

- [10] 赵东晔, 王晟达, 茹乐. 抗干扰综合信息系统中扩频码的设计 [J]. 计算机工程与应用, 2004, 15: 161-164.
- [11] 王育民, 何大可. 保密学——基础与应用 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1990.
- [12] 蔡科, 左宪章, 方奇奇. 基于混沌 RC5 的传感器网络分组加密算法 [J]. 计算机测量与控制, 2009, 17 (11): 2249-2252.
- [13] Douglas R. F. Chaotic Digital Encoding: An approach to Secure Communication [J], IEEE Trans. on circuit and system II, 1993, 40 (10): 660-666.
- [14] L. O. Chua, T. Lin, Chaos in digital filters [J]. Trans. on circuit and system II, 1988, 40 (6): 648-658.