

基于正交小波包变换的工程图纸降噪方法

邢如义¹ 梅树立² 姚春梅³ 杨勇⁴

(1. 华北水利水电学院 计算中心,河北 邯郸 056021; 2. 北京航空航天大学 理学院,北京 100083;
3. 中国农业大学 土木与水利工程学院,北京 100083; 4. 中国农业大学 理学院,北京 100083)

摘要 针对工程图纸数字图像的特点,对小波包降噪方法中阈值和阈值函数的选择进行了讨论,给出了适合工程图纸数字图像降噪的小波包方法的具体实现步骤。实际应用结果表明,该方法可有效消除图像中的噪声,所选阈值和阈值函数是合理的。

关键词 小波包变换; 工程图纸降噪; 阈值选取; 阈值函数

中图分类号 TP 301.6; TP 317.4

文章编号 1007-4333(2003)06-0062-04

文献标识码 A

Engineering drawings denoising based on orthogonal wavelet packets transformation

Xing Ruyi¹, Mei Shuli², Yao Chunmei³, Yang Yong⁴

(1. Computation Center, North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Handan 056021, China;
2. School of Science, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China;
3. College of Water Conservancy and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;
4. College of Science, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract A selection method on threshold and threshold function which are used in engineering drawings denoising based on orthogonal wavelet packets transformation was discussed. The corresponding procedure was proposed. The testing result showed that the method proposed on this paper was reasonable, and the selections on threshold and threshold function was reasonable and feasible.

Key words wavelet packets transformation; engineering drawings denoising; the selection of threshold; the threshold function

为便于对工程图纸进行数字化管理,需要将图纸扫描输入计算机,然后进行图形识别和矢量化处理,从而转换成 CAD 图形系统能够接受、处理的图形格式文件。图纸经扫描仪扫描输入转换为数字图像后,图像上往往会存在一些噪声。噪声的存在将直接影响系统后续处理的精度,因此,对工程图纸数字图像的降噪处理一直是人们研究的课题。图像降噪的经典方法是收缩、膨胀和平滑的方法^[1],与之相比,近期发展起来的小波方法无论在降噪速度上还是降噪效果上都有很大的优越性。

小波包的概念是由 M. V. Wickerhauser, P. R. Coifman 等人在小波变换的基础上进一步提出来的。从工程技术上看,小波包可以看成是函数空间

逐级正交剖分的扩展^[2],也就是说,在对信号分解的过程中,同时对高频信号和低频信号进行分解。因此,相对于小波分析,小波包分析提供了一种更为复杂,同时也更为灵活的分析手段,具有更为精确的局部分析能力。

由于工程图纸数字图像的识别在精确性上要求很高,所以本文中尝试采用小波包分析理论实现对工程图纸数字图像的降噪处理。

1 正交小波包的基本概念

设 $\{V_j; j \in \mathbf{Z}\}$ (\mathbf{Z} 是整数集)构成 $L^2(\mathbf{R})$ 上的正交多分辨分析,其尺度函数 (t) 和对应的小波函数 (t) , 满足双尺度差分方程

收稿日期:2003-01-20

基金项目:国家自然科学基金资助项目(10372036),广东省自然科学基金资助项目(021197)

作者简介:邢如义,硕士,主要研究方向为数字图像处理 and 计算机网络技术

$$\left. \begin{aligned} (t) &= \sqrt{2} \sum_n h_n (2t - n) \\ (t) &= \sqrt{2} \sum_n g_n (2t - n) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

其中系数 $\{h_n\}$ 和 $\{g_n\}$ 满足条件

$$\left. \begin{aligned} h_{n-2k} h_{n-2l} &= \delta_{kl} \\ h_n &= \sqrt{2} \\ g_n &= (-1)^n h_{1-n} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

根据正交小波的定义, $\{ (t - n), n \in \mathbf{Z} \}$ 与 $\{ (t - n), n \in \mathbf{Z} \}$ 构成 V_0 与 W_0 的正交基。对固定尺度情形, 定义一系列递归函数:

$$\left. \begin{aligned} H_0 &= (t), H_1(t) = (t) \\ H_{2m}(t) &= \sqrt{2} \sum_n h_n H_m(2t - n) \\ H_{2m+1}(t) &= \sqrt{2} \sum_n g_n H_m(2t - n) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

其中 $m = 0, 1, 2, \dots$ 。称由式 (3) 确定的函数序列 $\{H_m(t)\}_{m \in \mathbf{N}}$ 为由 $H_0 =$ 确定的正交小波包。

下面进一步给出小波包的分解和重构算法。设 $H_m(t)$ 经平移与伸缩变换生成函数

$$H_{m,j,l}(t) = 2^{j/2} H_m(2^j t - l)$$

再设 $V_j^m = \text{span}\{H_{m,j,l}, l \in \mathbf{Z}\}$, 称 V_j^m 为小波包空间。设 $g_j^m \in V_j^m$, 则 $g_j^m(x)$ 可表示为

$$g_j^m(x) = \sum_l d_l^{j,m} H_{m,j,l}(x) \quad (4)$$

根据小波包的定义, 可以直接得出小波包分解和重构算法。

1) 小波包分解算法。

$$\left. \begin{aligned} d_l^{j,2n} &= \frac{1}{\sqrt{2}} \sum_k h_{k-2l} d_k^{j+1,n} \\ d_l^{j,2n+1} &= \frac{1}{\sqrt{2}} \sum_k g_{k-2l} d_k^{j+1,n} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

其中: $d_l^{j,n}$ 是小波包分解系数; $\{h_k\}, \{g_k\}$ 是小波包分解序列。

2) 小波包重构算法。

$$d_l^{j+1,n} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sum_k \{h_{l-2k} d_k^{j,2n} + g_{l-2k} d_k^{j,2n+1}\} \quad (6)$$

2 利用正交小波包进行图像消噪处理

利用正交小波包变换理论对图像进行消噪处理是小波包的一个最基本的应用, 通常按如下几个步骤进行: 首先对图像进行小波包分解, 选择一个小波并确定小波分解的层次 N , 然后对图像进行 N 层小波包分解; 第二, 确定最佳小波包基, 即对于一个给

定的熵标准, 计算最佳树; 第三, 小波包分解系数的阈值量化, 对于每一个小波包分解系数, 选择一个适当的阈值并对系数进行阈值量化; 第四, 进行小波包重构, 根据第 N 层的小波包分解系数和经过量化处理的系数, 进行图像的小波包重构。在这四个步骤当中, 关键是如何选取阈值和进行阈值的量化。从某种程度上说, 它直接关系到信号降噪的质量。其余三步的算法已较为成熟, 在文献 [2] 和 [3] 中也有较详细的论述。因此, 本节主要讨论阈值和阈值函数的选择。

一般来说, 工程图纸数字图像中的噪声以高斯白噪声为主, 而且噪声和图像信号之间的界限比较明显。

2.1 阈值的选择

目前使用的阈值可以分成全局阈值和局部适应阈值 2 类。其中全局阈值对各层所有的小波系数或同一层内的小波系数都是统一的; 而局部适应阈值是根据当前系数周围的实际情况来确定的。到目前为止, 已经提出的全局阈值主要有 Donoho 和 Johnstone 统一阈值、基于零均值正态分布的置信区间阈值、BayesShrink 阈值和 MapShrink 阈值、最小最大化阈值和理想阈值 [4]。理想阈值是在均方差准则下的最优阈值, 没有显式表达式, 其计算通常需要知道信号本身, 因此通常采用 GCV (Generalized Cross Validation) 准则进行估计 [5]

$$T_{GCV} = \min(J), J = \frac{1}{N} \sum_s \left(\frac{N_0}{N} \right)^2 \quad (7)$$

其中: T_{GCV} 为小波萎缩阈值; N 为某一系数层中小波系数的个数, N_0 代表被置为 0 的系数个数, \sum_s 和 \sum_s 分别代表带噪声的小波系数和阈值萎缩后的系数。

局部适应阈值精度高, 对图像信号的适应能力强, 但计算复杂, 效率低, 适合较为复杂的图像。工程图纸数字图像和噪声的界限清晰, 因此应选择全局阈值。大量实验表明, 在所有全局阈值中采用 GCV 阈值的效果最好。

2.2 阈值函数的选择

阈值函数体现了对几种系数的不同处理策略, 以及不同的估计方法。阈值函数主要分为 3 种: 硬阈值函数, 软阈值函数和半软阈值函数。硬阈值函数为

$$() = I(| |) > T \quad (8)$$

其中 I 为示性函数。硬阈值方法可以很好保留图像边缘等局部特征, 但图像会出现振铃、伪 Gibbs 现

象等视觉失真;而软阈值方法可能会造成边缘模糊等失真现象。针对这点,人们又提出了一种半软阈值函数,这是以上两种函数的折中。

对工程图纸数字图像来说,图像边缘特征非常重要,图纸中噪声和图像界限较为清晰的特点决定了发生伪 Gibbs 现象的概率很小。因此,工程图纸数字图像处理适宜选择硬阈值方法。

3 应用实例及结果讨论

图 1 为基于正交小波包变换的图像消噪过程流程图。Matlab 中的小波工具箱只能处理线性、单调颜色图(如灰度图像)。此外,对于非索引图像,还应

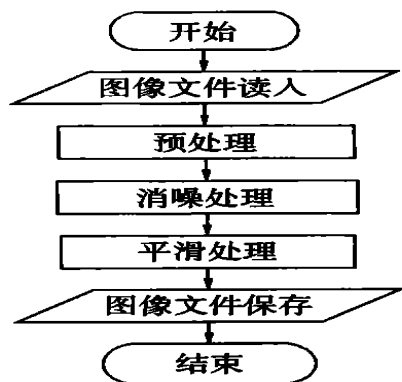


图 1 图像降噪过程

Fig. 1 The flow chart of images denoising

该将其转换成索引图像。因此在程序中增加了预处理过程。

实验图像是扫描输入的工程图纸经放大处理后的一部分(图 2)。取小波系数的个数 $N = 3$ 和 5 这 2 种情况;阈值函数则按软阈值函数、硬阈值函数和默认阈值函数 3 种情况来讨论;阈值取 Matlab 中默认阈值和按公式(7)计算得到的阈值 2 种情况。降噪结果见图 3。

由图 3 可以看出,随着 N 的加大,降噪效果明显改善,但计算时间也相应延长。在 N 值相同的情况下,取 Matlab 默认阈值和阈值函数时,降噪效果不明显;软阈值函数情况则平滑了噪声和图像信号,这对工程图纸图像的下一步处理是不利的;硬阈值



图 2 带高斯白噪声的工程图纸图像

Fig. 2 The engineering drawing image with gaussian white noises

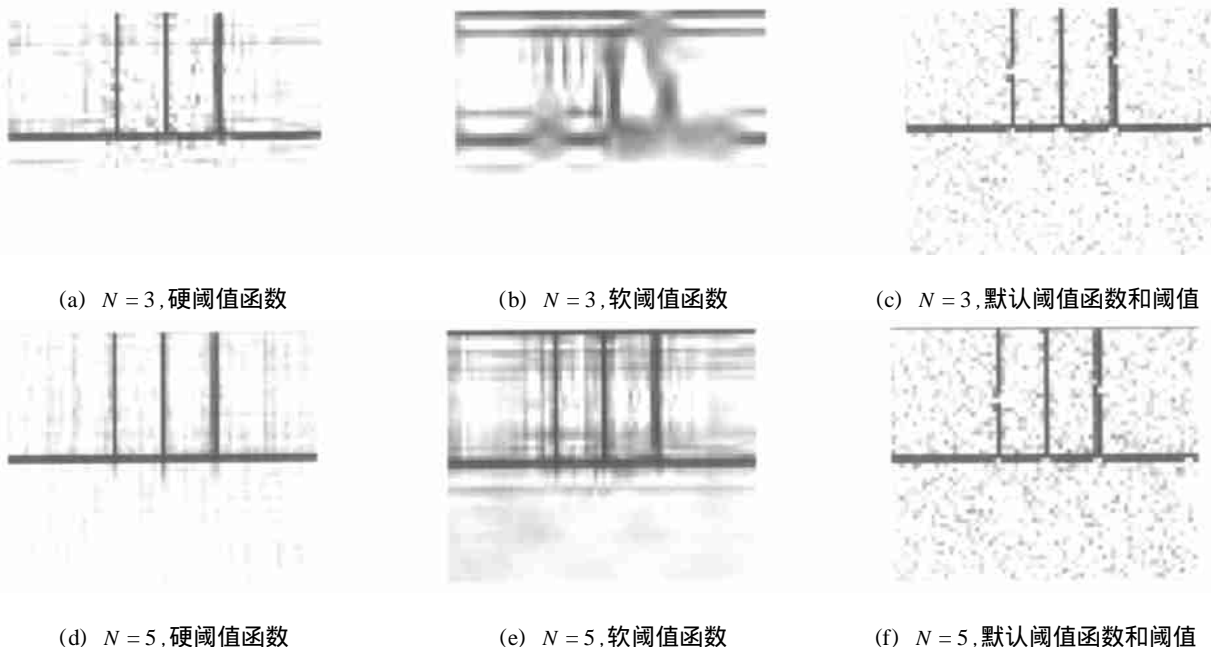


图 3 N 分别为 3 和 5 时不同阈值函数和阈值的降噪效果对比

Fig. 3 The comparison of denoising effects between different threshold functions and thresholds with N equal to 3 and 5, respectively

函数情况最为理想,这说明了本文中所提出的针对工程图纸的阈值和阈值函数的选择方案是合理的。

4 结束语

本文中主要针对具有高斯白噪声的工程图纸数字图像讨论了阈值和阈值函数的选择以及消噪的具体实现过程。在实际工程应用中,图像中的噪声可能是非高斯分布的。有关非高斯分布噪声的消除一般借用高斯分布噪声的处理方法,但效果不很理想,其关键还在于阈值和阈值函数的选取,这需要进一步的研究。

参 考 文 献

- [1] 李四明. 工程图纸输入与自动识别系统的研究[D]. 北京:中国农业大学,2000. 17~18
- [2] 杨福生. 小波变换的工程分析与应用[M]. 北京:科学出版社,1999. 178
- [3] 程正兴. 小波分析算法与应用[M]. 西安:西安交通大学出版社,1998. 162
- [4] 谢杰成,张大力,徐文力. 小波图像去噪综述[J]. 中国图像图形学报,2002,7(3):209~217
- [5] Jansen M, Bultheel A. Multiple wavelet threshold estimation by generalized cross validation for images with correlated noise[J]. IEEE Trans Image Processing, 1999,8(7):947~953

(上接第 32 页)

- [6] Willits D H. The effect of shade cloth temperature on the cooling efficiency of shade cloths in greenhouses[A]. In: Department of Biological and Agricultural Engineering. Presentation at the 2002 ASAE Annual International Meeting/ CIGR XVth World Congress [C]. Chicago, Illinois, USA: ASAE. 2002
- [7] 李晓冬,姜允涛,金玮涛. 大型玻璃温室通风降温系统

形式探讨[J]. 低温建筑技术,2000(4):30~32

- [8] 周林光. 置换通风及其数值模拟[D]. 上海:同济大学,1996
- [9] 刘传聚,周林光. 置换通风的数值模拟[J]. 建筑热能通风空调,1998(1):4~7
- [10] 武文斐,陈俊俊,王晓彤,等. 多污染源置换通风效果与舒适性研究[J]. 环境工程,2002,20(4):69~71

(上接第 53 页)

参 考 文 献

- [1] 陈远国. 分离式热管换热器的研究、应用与评价[A]. 见:第三届全国热管会议组委会. 热管研究与应用进展(第三届全国热管会议论文集)[C]. 重庆:重庆大学出版社,1991. 135~141

- [2] 科利尔. 对流沸腾和凝结[M]. 魏先英译. 北京:科学出版社,1982. 74~102
- [3] Stephen K. Heat Transfer in Condensation and Boiling [M]. New York: Springer-Verlag,1992. 150~151
- [4] 屠传经,王朝阳,严玲. 分离型热管内凝结换热的研究[A]. 见:第二届全国热管会议组委会. 第二届全国热管会议论文集[C]. 大连:中国工程热物理学会热管专业组,1988. 213~219