

## 基于提升小波的自适应阈值图像去噪方法

吴昌东<sup>1</sup>, 江桦<sup>2</sup>, 邱晓初<sup>1</sup>

(1 西华大学 电气信息学院, 四川 成都 610039; 2 西南交通大学 峨眉校区计算机与通信工程系, 四川 峨眉 614202)

**摘要:** 利用提升法对传统小波进行提升, 给出了用提升方法构造 lifting-9.7 小波的实现方法. 针对图像去噪传统阈值选取的不足, 研究了一种基于提升小波的自适应阈值图像去噪方法. 实验表明: 该方法实现简单, 计算速度快, 处理后的图像清晰, 能量保持能力强, 提高了去噪后图像的信噪比, 去噪效果好.

**关键词:** 提升小波; 自适应阈值; 图像去噪

**中图分类号:** TP391

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-7180(2010)12-0018-04

## Adaptive Threshold Based on Lifting Wavelet for Image Denoising

WU Chang-dong<sup>1</sup>, JIANG Hua<sup>2</sup>, QIU Xiao-chu<sup>1</sup>

(1 School of Electrical and Information Engineering, Xihua University, Chengdu 610039, China;

2 School of Computer and Communication Engineering, The e-mei Campus of Southwest Jiaotong University, e-mei 614202, China)

**Abstract:** Traditional wavelet is promoted by lifting scheme, the realization method of the lifting Daubechies(9.7) by lifting scheme is given out in this paper. As for the traditional choosing threshold way has many shortcomings an adaptive threshold based on lifting wavelet transform for image denoising is studied. Simulation illustrates that comparing to general wavelet transform, the new method not only has the advantage of easy coding, fast computation and strong energy, but also improves SNR more effectively, makes denoised image more clearly and keep excellent outcome.

**Key words:** lifting wavelet; adaptive threshold; image denoising

### 1 引言

图像在采集、传输及处理过程中, 不可避免地会受到噪声的干扰. 如货车超限检测系统采集的货车图像易受电磁波与空气粉尘的干扰, 移动机器人在获取外界信息时不可避免地会引入噪声, 离线中文手写签名认证系统中采集的信息也受到一定程度的噪声影响, 为了对图像进行深入研究, 有必要对其进行去噪处理. 虽然小波变换具有良好的时频局部化性质, 并且具有多分辨率特性, 在去除图像噪声方面显示出了一定的优越性, 但在考虑去噪质量、去噪所需时间、去噪前后能量保持度等方面, 提升小波与传统小波相比还是具有较为明显的优势<sup>[1]</sup>. 在提升小波变换中, 小波具有结构简单、运算量低、原位运算、

整数变换、逆变化可直接反转实现等特点. 同时, 在去噪阈值的选取上, 根据图像噪声特点, 结合自适应阈值去噪方法, 采用基于提升小波的自适应阈值去噪方法能有效地对图像进行去噪.

### 2 小波变换的提升实现

#### 2.1 提升方案基本原理

提升算法给出了双正交小波简单而有效的构造方法. 它的基本思想是, 将现有的小波滤波器分解成基本的构造模块, 分步骤完成小波变换.

提升方案把第一代小波变换过程分为三个阶段: 分解(Split)、预测(Predict)和更新(Update). 通过预测和更新两个提升环节实现信号的高低频分离. 由于信号有局部相关性, 在某一点的信号值可通

收稿日期: 2009-11-18; 修回日期: 2010-01-18

基金项目: 四川省教育厅自然科学研究重点项目(07ZA114)

过其相邻信号值以适当的预测算子预测,同时预测出的误差就是高频信息,这过程为预测环节.预测环节得到的高频信息又通过更新算子来调整信号的下抽样得到低频信息,这就是更新环节.提升算法的分解和重构如图1所示.

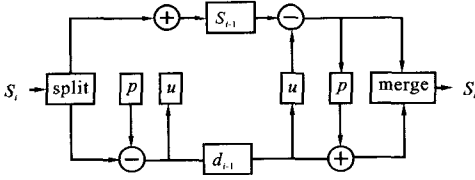


图1 提升算法的分解和重构

(1) 分解. 将信号  $s_i$  分为2个较小的子集  $s_{i-1}$  和  $d_{i-1}$ ,  $d_{i-1}$  也称为小波子集. 常见方法是将输入信号根据奇偶性分为两组, 这种分裂所产生的小波称为懒小波. 分解过程  $F(s_i)$  表示为  $F(s_i) = (s_{i-1}, d_{i-1})$ .

(2) 预测. 在基于原始数据相关性的基础上, 用偶数序列  $s_{i-1}$  的预测值去  $p(s_{i-1})$  预测奇数序列  $d_{i-1}$ , 即将滤波器  $P$  对偶数信号作用以后作为奇信号的预测值, 奇信号的实际值与预测值相减得到残差信号. 重复分解和预测过程, 经  $n$  步以后原信号集可用  $\{s_n, d_n, \dots, s_1, d_1\}$  来表示.

(3) 更新. 更新的思想是找一个更好的子集  $s_{i-1}$ , 使得它保持原图的某一标量特性  $Q(x)$ , 即有  $Q(x_{i-1}) = Q(x_i)$ . 利用计算的小波子集  $d_{i-1}$  对  $s_{i-1}$  进行更新, 从而使得后者保持特性  $Q(x)$ , 即要构造一个算子  $U$  去更新  $s_{i-1}$ . 定义如下:

$$s_{i-1} = s_{i-1} + U(d_{i-1}) \quad (1)$$

因此, 提升方法可以实现原位运算, 此外, 还可以使用提升方法来设计新小波, 同时可将小波滤波器过程分解成其简单的基本步骤, 且分解的每一步都是可逆.

### 2.2 lifting-9.7小波变换的提升实现方法

db9.7小波具有重构误差小, 正交性、对称性和紧支撑性等特点, 通过选择合适的提升和对偶提升系数来提升它的消失矩, 使提升后的小波满足实际需要<sup>[2-4]</sup>.

对 db9.7 小波, 其滤波器为

$$\begin{aligned} \tilde{h}_e(z) &= \tilde{h}_4(z^2 + z^{-2}) + \tilde{h}_2(z^1 + z^{-1}) + \tilde{h}_0 \\ \tilde{h}_o(z) &= \tilde{h}_3(z^2 + z^{-1}) + \tilde{h}_1(z + 1) \end{aligned} \quad (2)$$

$\tilde{p}(z)$  存在因式分解:

$$\tilde{p}(z) = \begin{bmatrix} 1 & \alpha(1+z^{-1}) \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \beta(1+z) & k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & \gamma(1+z^{-1}) \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \delta(1+z) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k & 0 \\ 0 & 1/k \end{bmatrix}$$

$\alpha = -1.586134342, \beta = -0.05298011854,$   
 $\gamma = 0.8829110762, \delta = 0.4435068522, k = 1.149604398.$

则

$$p(z) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\alpha(1+z) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -\beta(1+z^{-1}) \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\gamma(1+z) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -\delta(1+z^{-1}) \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/k & 0 \\ 0 & k \end{bmatrix}$$

因此, db9.7 正向小波变换的提升实现算法为

$$\begin{aligned} s_i^0 &= x_{2i}, d_i^0 = x_{2i+1}; \\ d_i^1 &= d_i^0 + \alpha(s_i^0 + s_{i+1}^0); \\ s_i^1 &= s_i^0 + \beta(d_i^1 + d_{i-1}^1); \\ d_i^2 &= d_i^1 + \gamma(s_i^1 + s_{i+1}^1); \\ s_i^2 &= s_i^1 + \delta(d_i^2 + d_{i-1}^2); \\ s_i &= k \cdot s_i^2, d_i = d_i^2/k. \end{aligned}$$

式中,  $s_k^{(j+1)}$  为下一级的概貌信号,  $d_k^{(j+1)}$  为下一级的细节信号.

## 3 提升小波去噪方法研究

### 3.1 提升小波去噪步骤

提升后的小波保留了 db9.7 小波的双正交性、对称性和紧支撑性, 而消失矩的增加使提升小波使小波更加光滑, 可以更好地逼近信号, 频域定域性更好, 可捕捉图像中更多细节, 能实现整数变换, 运算速度快, 为变换后的小波系数进行分析进而确定阈值去噪提供更多信息.

提升小波去噪方法如下:

- (1) 对 db9.7 做提升, 提升 2 阶消失矩, 构成 lifting-9.7 小波;
- (2) 对含噪后图像用 lifting-9.7 小波将其进行 3 层提升分解, 获取高频系数;
- (3) 获取自适应阈值;
- (4) 用 lifting-9.7 小波进行逆变换处理, 获得去噪图像.

在上述步骤中, 阈值的选取最为关键, 阈值选取太小, 容易将有用信号去掉, 阈值选取太大, 去除噪声能力不强, 因此, 进行合理的阈值选取至关重要.

### 3.2 自适应阈值的选取

图像在采集、传输与处理过程中, 噪声与信号相互依赖, 由于各层次上信号和噪声的传播特性不同, 信号的能量随着层次的增加而增加, 而噪声能量则减小<sup>[5]</sup>, 因此阈值的选取应考虑到图像的提升小波的分解层次, 局部对比度等因素对阈值的影响.

基于此, 本文采用一种局部自适应阈值选取方

法. 该方法对提升小波分解后的每个层次上的各方向高频系数矩阵进行分块处理, 每个子矩阵对应图像的某个局部信息, 对每个子矩阵进行分析来确定阈值, 所选阈值具有很好的自适应性.

#### 4 实验结果与分析

用 db9.7 小波和 lifting-9.7 小波分别对含高斯噪声(0,15)的 lena 图像进行去噪实验, 实验结果如图 2 所示. 图 2 中, 图(a)为原始图像, 图(b)为含噪图像, 图(c)为采用 db9.7 小波对对含噪图像进行全局阈值(硬阈值)去噪结果, 图(d)为采用 db9.7 小波对对含噪图像进行分层阈值(软阈值)去噪结果, 而图(e)为采用本文的提升小波自适应阈值算法去噪结果. 评价图像去噪效果指标如表 1 所示.

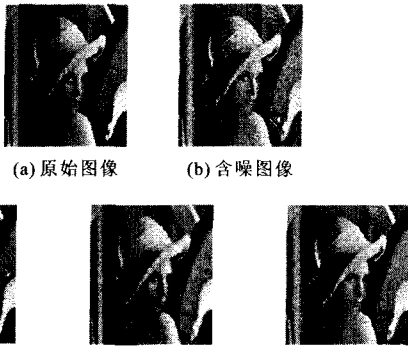


图 2 不同方法去噪图像

表 1 对含高斯噪声图像去噪效果性能指标

评价去噪效果指标	ERR	PER	MSE	SNR/db	TIME/s
全局阈值去噪	4.842 7	0.999 6	0.003 5	30.119	1.316
分层阈值去噪	2.862 2	0.999 7	0.002 5	32.906	1.531
本文算法去噪	2.455 5	0.999 7	0.002 2	34.237	1.047

表 1 中, ERR 为去噪图像与原图像的标准误差, PER 为去噪信号保留的能量成分, MSE 为图像的均方误差, SNR 为图像的信噪比, TIME 为程序运行时间.

由图 2 及表 1 可知, 采用原始小波对图像进行去噪, 无论是采用全局阈值还是分层阈值去噪, 去噪后图像稍显模糊, 效果都不够理想, 而采用提升后的小波对含噪图像去噪后的清晰度方面比前两种方法要好, 而且所用时间明显减少, 衡量去噪效果指标明显优于前两种方式.

采用本文算法对含不同高斯噪声图像进行去噪实验, 实验结果如图 3 所示, 评价指标如表 2 所示.

由图 3 可见, 当图像受高斯噪声影响小时, 去噪

后的图像较清晰, 去噪效果较好. 而当图像受高斯噪声影响较大时, 去噪后图像受噪声干扰仍然较大, 去噪后的效果不太理想.



图 3 本文算法去噪图像

表 2 本文算法对含不同高斯噪声图像去噪效果性能指标

评价去噪效果指标	ERR	PER	MSE	SNR/db	TIME/s
参数(0,15) (本文算法去噪)	2.455 5	0.999 7	0.002 2	34.236 9	1.046 9
参数(0,20) (本文算法去噪)	2.563 4	0.999 7	0.002 5	33.863 3	1.093 8
参数(0,25) (本文算法去噪)	2.798 5	0.999 6	0.002 7	33.101 0	1.109 4

由表 2 可分析得出, 随着噪声的加强, 其去噪信噪比 SNR 越小, 去噪效果呈下降趋势; 图像含噪声越复杂, 能量保持度降低, 程序运行所需时间有所增加, 但整个程序运行所需时间明显少于采用原始小波对图像软阈值去噪所需时间.

采用本文算法分别对含有高斯噪声(0,15)的 lena 图像和 fruit 图像进行去噪处理实验. 实验结果如图 4 所示, 评价图像去噪效果指标如表 3 所示.

表 3 lifting-9.7 小波对 lena 图像和 fruit 图像去噪性能指标

评价去噪效果指标	ERR	PER	MSE	SNR/db	TIME/s
提升小波去噪(1)	2.456	0.999	0.002	34.24	1.047
提升小波去噪(2)	1.971	0.999	0.001	37.07	1.023

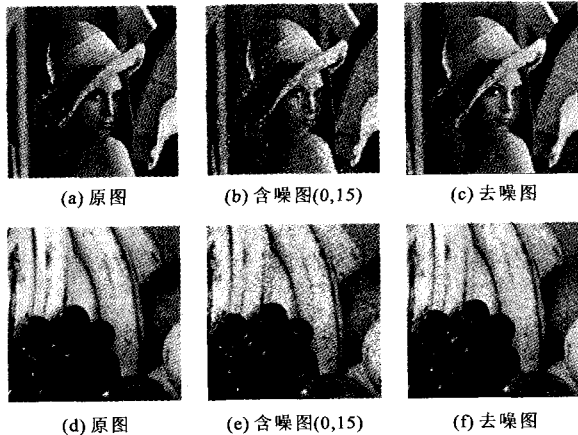


图4 lifting-9.7小波对lena图像和fruit图像去噪效果

从图2、图3、图4及表1、表2、表3可得出如下结论。

(1) 提升小波进行图像去噪比原始小波要快。这是因为提升小波是原位计算,节约了大量内存,同时它不依赖傅里叶变换带来的大量冗余。

(2) 相同大小的不同图像在多级分解时,lena图像比fruit图像所需时间要多,这是因为图像处理所需时间还跟图像的细节复杂度有关,细节越复杂,处理耗时越多。

(3) 对含相同噪声等级的两图像使用相同的提升小波去噪时,fruit图像的去噪效果要好于lena图像,这说明,噪声方差相同时,而图像的方差即图像的细节变化少、纹理特征不明显时,误差较小,去噪效果好,但能量保持基本相同。

## 5 结束语

本文通过对原始小波进行提升变换,使小波性能得到改善,同时针对传统阈值选取的不足,介绍了

一种自适应阈值选取方法,将两者进行有效结合,运用在图像去噪处理中。

试验表明:基于lifting-9.7小波的自适应阈值去噪法对含噪图像进行去噪处理后,去噪后的图像比较清晰,能真实地反映原始图像,其信噪比SNR较db9.7直接对图像进行处理有所提高,同时在去噪所需时间、能量保持等方面具有优势,是一种有效的图像去噪方法。

## 参考文献:

- [1] Shubhankar R, Bani K. A Bayesian transformation model for wavelet shrinkage[J]. IEEE Transactions on IP, 2003, 12(12): 1512-1520.
- [2] Li Honggang, Wang Qiao, Wu Lenan, et al. A novel design of lifting scheme from general wavelet[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2001, 49(3): 1714-1716.
- [3] 飞思科技产品研发中心. 小波分析理论与MATLAB7实现[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [4] 朱锡芳. 一种基于连续小波闭值的图像去噪新算法[J]. 微电子学与计算机, 2007, 24(11): 181-185.
- [5] Henk J A M Heijmans, Piella G, Pesquet Popescu B. Building adaptive 2D wavelet decompositions by update lifting[C]// Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing (ICIP 2002). Rochester: IEEE, 2002: 397-400.

## 作者简介:

- 吴昌东 男, (1978-), 讲师. 研究方向为信号与信息处理。  
江桦 女, (1979-), 讲师. 研究方向为嵌入式系统与信号处理。  
邱晓初 男, (1964-), 副教授. 研究方向为人工智能与模式识别。

(上接第17页)

- [2] 赵虹, 吴敏, 刘国平. 带时变时延的网络化控制系统控制器设计方法[J]. 信息与控制, 2006, 35(3): 325-329.
- [3] 张玉泉, 钟秋海. 时延和丢包网络控制系统的观测器设计[J]. 微计算机信息, 2009, 25(4): 108-110.
- [4] 刘磊明, 童朝南, 武延坤. 一种带有动态输出反馈控制器的网络控制系统的Markov跳变模型[J]. 自动化学报, 2009, 35(5): 627-631.
- [5] 张小美. 具有非线性扰动的网络化随机系统鲁棒控制[J]. 电机与控制学报, 2007, 11(4): 387-393.
- [6] 彭晨, 岳东, 彭丽萍. 网络控制中基于LMI的次优化允许等价时滞界研究[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(2): 369

-387.

- [7] 戴建国. 时滞系统方法的网络化 $H_\infty$ 控制[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(19): 1-5.

## 作者简介:

- 刘自鑫 男, (1977-), 博士研究生, 讲师. 研究方向为网络控制系统稳定性理论。  
吕恕 博士研究生, 副教授。  
钟守铭 学士, 教授。  
叶茂 博士, 教授。