

王晓虹, 韦英华. 结合 Ridgelet 变换与 Wiener 滤波的苹果图像去噪算法[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(10): 373-375.

结合 Ridgelet 变换与 Wiener 滤波的苹果图像去噪算法

王晓虹, 韦英华

(连云港职业技术学院, 江苏连云港 222000)

摘要: 实现农产品图像噪声的有效滤除, 是农产品图像处理的一项基础性工作。针对苹果图像中经常出现的各类随机噪声, 以高斯白噪声和脉冲噪声构成的随机噪声模型为研究对象, 结合 Ridgelet 变换与自适应 Wiener 滤波, 提出了一种苹果图像自适应去噪算法。该算法首先对噪声图像进行二维 Ridgelet 分解, 根据高频和低频 Ridgelet 分解系数中噪声分布特征, 设计出 2 类基于可调节参数的阈值函数模型; 对经典全局阈值进行改进, 使其能根据分解层数的变化而自适应调整阈值大小; 然后对阈值化处理后的 Ridgelet 系数重构。最后, 提出了一种修正自适应 Wiener 滤波算法对重构图像出现的“环绕”现象进行处理。结果表明, 滤波算法性能优于小波硬阈值(WH)、小波域软阈值(WS)、自适应中值滤波(IAMF), 能够实现对苹果图像中噪声的自适应滤除。

关键词: 苹果图像; 高斯白噪声; 脉冲噪声; Ridgelet 变换; 自适应 Wiener 滤波

中图分类号: TP391.41; S126 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2013)10-0373-03

近年来, 计算机技术特别是计算机图形图像处理技术在农产品检测^[1]领域得到大量应用, 这为农产品的长势检测、缺陷检测以及病虫害检测等提供了一种有效途径。基于计算机技术的农产品检测方法主要是通过对获取的图像进行解译, 然后由于成像条件等诸多因素的影响会使得所获取的各类农产品图像不可避免地受到各类噪声的干扰。就类型而言, 该类噪声主要有高斯噪声和脉冲噪声。关于农产品图像噪声的抑制已有研究, 如杨福增等提出了一种小波变换域 Wiener 农产品图像滤波算法^[2], 艾剑锋等将 MATLAB 软件用于农产品图像处理^[3]。

本研究将 Ridgelet 变换与自适应 Wiener 滤波算法相结合, 用于苹果图像噪声自适应抑制, 在脊波变换域中, 分别根据高频和低频分解系数噪声分布特征设计出 2 类可调节参数的函数模型, 并且对经典全局阈值进行改进, 使其能够根据分解层数的变化而自适应调整阈值^[4-5]。采用基于修正的自适应 Wiener 滤波算法对重构图像的“环绕”现象进行处理。

1 二维 Ridgelet 变换

1.1 二维离散 Ridgelet 变换

记 $\psi(x)$ 为一尺度函数, $\phi(x)$ 为对应的二进制小波函数, 在时间 T 内离散化处理, 并且 $\Delta T = 1$, 那么对于任意长度为 m 的数字信号而言, 二进制小波变换可表示成:

$$W^2 F(k) = F(k) * \phi^{2^j}(k) \quad (1)$$

其中, 信号长度 $k \in (1, 2, 3, \dots, m)$, $j = 1, 2, \dots, \log_2 m$; $*$ 为内积运算。若存在 $\bar{\phi}(x) = \phi(-x)$, 那么

$$W^2 F(k) = f(k) * \phi^{2^j}(k) = \langle f(k), \bar{\phi}^{2^j, n} \rangle \quad (2)$$

若任意数字图像的 Radon 变换可表示成 $R(n, l)$, $F_n(x) \in$

$L^2(R)$, 使得下式成立:

$$R(n, l) = f_n * \psi(l) \quad (3)$$

那么该数字图像的离散 Ridgelet 变换可定义为:

$$DRT^2 f_n(k) = \langle f_n, \phi^{2^j, k}(\cdot) \rangle \quad (k = 1, 2, \dots, m) \quad (4)$$

1.2 二维连续 Ridgelet 变换

记任意光滑函数为 $\phi: \mathbf{r} \rightarrow \mathbf{r}$, 若满足:

$$\begin{cases} \int \phi(t) dt = 0 \\ H_\phi = \int \frac{|\phi(x)|^2}{|x|^2} dx < \infty \end{cases} \quad (5)$$

则称函数 H_ϕ 为容许激励函数。在任一参数集合 η 中, 容许激励函数 H_ϕ 所生成的 Ridgelet 函数 ϕ_η :

$$\phi_\eta(x) = a_1^{-1/2} \cdot \phi\left(\frac{\alpha x - a_2}{a_1}\right) \quad (6)$$

其中, a_1, α, a_2 分别表示 Ridgelet 函数的尺度参数、方向参数、位置参数。令 $\alpha = (\cos \alpha, \sin \alpha)$, $x = (x_1, x_2)$, 函数 $f(x)$ 连续 Ridgelet 变换可定义成

$$\phi_\eta(x) = a_1^{-1/2} \cdot \phi[(x_1 \cos \alpha + x_2 \sin \alpha - a_2)/a_1] \quad (7)$$

与经典小波变换类似, 相应地 Ridgelet 变换重构公式为:

$$f(x) = w_\phi \cdot \int CRT_{f(x)}(a_1, a_2, \alpha) \cdot \phi_{(a_1, a_2, \alpha)}(x) \frac{da_1 da_2 d\alpha}{a_1^3} \quad (8)$$

式中: w_ϕ 为一常数, 且 $w_\phi = 1/\sqrt{2\pi} \cdot H_\phi^{-1}$ 。

2 2 种 Ridgelet 变换域改进阈值函数模型

2.1 阈值函数改进模型

一幅图像 $f(x, y)$ 经过二维 Ridgelet 变换后, 变换系数大体上分为 2 类: 一类是由噪声组成, 该类系数幅度值较小并且数目较多, 可通过设定一定的阈值对该类系数进行处理, 去除第 2 类噪声的同时尽可能保留第 1 类噪声, 从而达到噪声滤波的目的; 另一类系数幅度值较大, 并且数据较少, 这类噪声基本是由图像信息组成, 噪声污染程度不及第 1 类。经典软硬阈值函数具有的缺陷有: (1) 对大于阈值的系数要么直接保留或减去一定数值进行保留, 要么直接置 0, 图像经过滤波

收稿日期: 2013-06-07

作者简介: 王晓虹 (1970—), 女, 江苏连云港人, 讲师, 主要研究方向为计算机自动化控制及计算机图像图形处理。E-mail: 1078640265@qq.com。

通信作者: 韦英华。E-mail: wxiaohongvip@163.com。

后信息间不连续现象较为明显,易出现伪布吉斯现象;(2)采用全局统一阈值进行处理,无法根据图像分解层数的增加而自适应调整阈值大小。

基于以上分析,本研究根据 2 类 Ridgelet 分解系数设计出新的阈值函数模型:

(1) 第 1 类阈值函数模型

$$\tilde{w}_{j,k} = \begin{cases} w_{j,k} & |w_{j,k}| > Thr \\ \text{sign}(w_{j,k}) \cdot (|w_{j,k}| - \lambda \cdot \sqrt{|w_{j,k}|^2 - Thr}) & 2/3 \leq |w_{j,k}| < Thr \\ \text{sign}(w_{j,k}) \cdot (\sqrt{|w_{j,k}|^2}) & 1/3 Thr \leq |w_{j,k}| < 2/3 Thr \\ 0 & |w_{j,k}| < 1/3 Thr \end{cases} \quad (9)$$

其中, $\tilde{w}_{j,k}$ 为滤波后的系数值, $w_{j,k}$ 为脊波系数值, λ [$\lambda \in (0, 1)$] 为调节参数; Thr 为函数阈值,将在下节中详细讨论。该阈值函数模型通过将脊波变换系数分为 4 个部分,分别进行不同程度的抑制处理,仅在系数幅度值非常小的情形下才将其设置为 0,这大大降低了噪声的误判率。

(2) 第 2 类阈值函数模型

针对第 2 类脊波分解系数,虽然包含了图像的绝大多数信息,收到噪声干扰的程度较小,但该部分噪声若忽略不计,也会对图像的最终滤波结果产生影响。因此有必要根据该类系数的特点设计出相应的阈值函数模型:

$$\tilde{w}_{j,k} = \begin{cases} w_{j,k} & |w_{j,k}| \geq Thr \\ \alpha \cdot |w_{j,k}| + (1 - \alpha) \cdot \text{sign}(w_{j,k}) (|w_{j,k}| - Thr) & 1/2 \leq |w_{j,k}| < Thr \\ \sqrt{|w_{j,k}|^2} & |w_{j,k}| < 1/2 Thr \end{cases} \quad (10)$$

式中, $\tilde{w}_{j,k}$ 、 $w_{j,k}$ 定义同上; α [$\alpha \in (0, 1)$] 为调节系数。该模型特点在于:通过设定调节系数 α 将硬阈值和软阈值函数有机结合起来,充分发挥二者的优势,以取得滤波的最佳效果;对于幅度值最小的分解系数取其平方根作为滤波结果输出,而非直接置 0,这既充分保留了图像的细节信息又能尽可能滤除噪声。

2.2 函数模型阈值选取策略

目前主要有如下几类阈值选取方法:全局阈值法^[6]、贝叶斯阈值^[7]、SUREshrink 和 GCVshrink^[8] 阈值,从整体上看,各类阈值基本上属于全局阈值范畴,即无法根据分解层数自适应确定相应的阈值大小,对于多层分解的系数处理效果不是很理想。

图像信号 $f(x, y)$ 经过二维 Ridgelet 变换后,各尺度上的脊波系数幅度值大小各不相同,并且随着分解尺度的增大,幅度只呈现减小的趋势。为此,本研究对经典全局阈值加以改进:

$$Thr = \begin{cases} \sigma \sqrt{2 \lg N} & N = 1 \\ \sigma \sqrt{\lg N / 2^j} & N = 2, 3, 4, \dots \end{cases} \quad (11)$$

其中, N 为信号长度, j 为分解层数;该阈值对于 1 层脊波分解可采用经典全局阈值处理,对于多层脊波分解系数,阈值会随之减小,对于更精细分解的系数中的噪声能进行有效探测,并且能更好地保留图像原始信息。

3 一种基新型修正自适应 Wiener 滤波算法

自适应 Wiener 是基于以下图像信号:

$$w(x, y) = s(x, y) + n(x, y) \quad (12)$$

其中, $s(x, y)$ 为图像信号, $n(x, y)$ 为噪声信号, $s(x, y)$ 、 $n(x, y)$ 是相互独立的。那么自适应 Wiener 滤波器可定成: \hat{w} , 均方误差准则如下:

$$MSE = E[s(x, y) - \hat{w} * w(x, y)] \quad (13)$$

从而自适应 Wiener 滤波器可定义成:

$$\hat{w} = \frac{E[w(x, y)^2] - \sigma_n^2}{E[w(x, y)^2]} \quad (14)$$

其中, σ 为图像噪声方差。针对该滤波算法在对噪声处理过程中时常出现的“过滤波”现象,本研究引入修正因子 μ [$\mu \in (0, 1)$] 对其进行一定程度的修正,修正的自适应 Wiener 器定义如下:

$$\hat{w} = \mu \cdot \frac{E[w(x, y)^2] - \sqrt{\mu} \cdot \sigma_n^2}{E[w(x, y)^2]} \quad (15)$$

修正后自适应 Wiener 对于图像中含有轻度噪声的情形,特别是对滤波后图像的后处理具有较好效果,避免了对图像有用信息进行盲目滤波。

4 试验与分析

4.1 滤波算法实现步骤

步骤 1: 对非素数大小的噪声图像采用对称方法进行沿拓,直至获得素数大小的图像为止;步骤 2: 对噪声图像进行二维 Ridgelet 变换,获得低频和高频 Ridgelet 分解系数;步骤 3: 根据高频和低频脊波分解系数中噪声分布特点,首先采用式(13)所定义的阈值进行噪声判别与阈值计算;步骤 4: 针对高频 Ridgelet 分解系数采用模型(1)阈值函数进行处理调节参数 λ 取 2/3;步骤 5: 对低频 Ridgelet 分解系数采用模型(2)阈值函数处理,调节系数 α 取 1/2;步骤 6: 对经过两类阈值函数模型处理后的低频和高频 Ridgelet 分解系数进行重构,获得滤波后图像;步骤 7: 针对滤波后图像出现“环绕”效应,采用“3”节下所定义的修正自适应 Wiener 滤波进行抑制,其中修正系数 μ 取 3/4。

4.2 算法试验分析

采用 10 组像素大小为 512×512 、灰度级为 256 级的苹果图像对本研究提出的滤波算法进行性能测试。采用由高斯白噪声和脉冲噪声组成的随机噪声模型,通过对小波域硬阈值(WH)、小波域软阈值(WS)、以及文献[9]所定义的自适应中值滤波算法与本研究算法进行比较。定义峰值信噪比(PSNR)^[10]对滤波结果进行定量评价,限于篇幅给出其中具有代表性的一组,如图 1 及表 1 所示。

从图 1、表 1 可以看出,WH、WS、IMAF 算法各有千秋,其中,WH 滤波较差,这与“3”节分析的 WH 局限性相吻合;相对而言,WS 和 IMAF 滤波性能想接近,但 WS 对于高斯白噪声具有较好滤波效果,而对于脉冲噪声则无能为力,表现为各图中仍残留大量的斑点;相反,IMAF 则能有效滤除脉冲噪声,但无法处理高斯白噪声。本研究滤波算法对于该 2 类混合随机噪声均有较好滤除能力,经过该算法处理后的图像清晰度与原始图像最为接近,尽管仍残留极个别的噪声点,但这基本不影响对苹果图像中目标的准确识别。本研究滤波算法优越性能也在表 1 数据中得以体现,本研究算法对应的 PSNR 值在随机噪声密度变大过程中,仅下降了约 1.5 ~ 2 db,这说

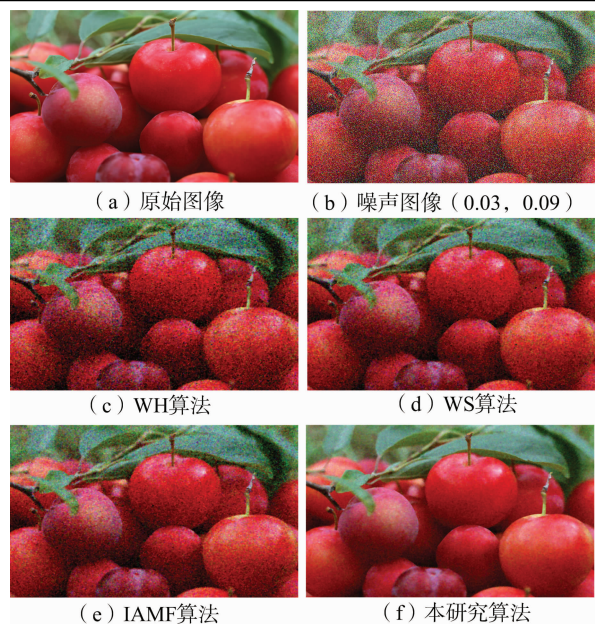


图1 几种滤波算法效果比较

表1 几种图像滤波结果定量比较

噪声	WH	WS	IAMF	本研究算法
0.01, 0.03	21.034	23.652	24.017	25.696
0.02, 0.06	20.117	22.783	23.589	25.027
0.03, 0.09	19.562	22.029	23.003	24.394
0.04, 0.12	19.435	21.205	22.876	24.018

明该算法在高密度噪声环境下仍能具有良好的性能,这一特点是 WH、WS、IAMF 等算法所不具有的。

5 总结与讨论

本研究针对苹果图像中时常出现的随机噪声,提出了一

(上接第 224 页)

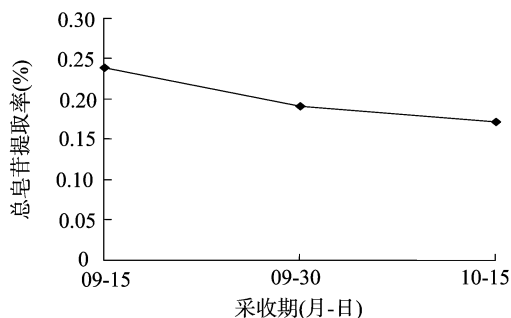


图2 不同采收期轮叶党参总皂苷提取率

方差分析结果表明:采收期 1 与采收期 3 的轮叶党参总皂苷提取率差异显著,采收期 1 与采收期 2 的轮叶党参总皂苷提取率差异不显著,采收期 2 与采收期 3 的轮叶党参总皂苷提取率差异不显著。

3 结论与讨论

目前,轮叶党参最佳采收期从产量方面研究的人很多,但

种自适应滤波算法。试验结果表明,本研究滤波算法性能优于小波域硬、软阈值以及自适应中值滤波算法。本研究滤波算法稍加改进即可应用到各类农产品图像处理中去,对于一般的数字图像处理,也具有一定的借鉴价值。

参考文献:

- [1] 王艳春,迟胜起,郑长英. 基于数学形态滤波算子的黄顶菊种子图像边缘检测[J]. 农机化研究,2011,33(3):39-42.
- [2] 杨福增,王 峰,杨 青,等. 基于小波变换的 Wiener 滤波方法在农产品图像去噪中的应用[J]. 农业工程学报,2007,23(2):145-150.
- [3] 艾剑锋,章海亮. 基于 MATLAB 的苹果图像处理研究[J]. 湖北农业科学,2011,50(4):840-841,844.
- [4] Xin W. Wrap-around effect removal finite fidgelet transform for multiscale image denoising[J]. Pattern Recognition,2010(43):3693-3698.
- [5] Shan T, Jiao L C. Multivariate statistical model for image denoising in the wavelet domain[J]. International Journal of Computer Vision, 2007,75(2):209-230.
- [6] Donoho D L. De-noising by soft-thresholding[J]. IEEE Transactions on Information Theory,1995,41(3):613-627.
- [7] Chang S G, Yu B, Vetterli M. Image denoising via lossy compression and wavelet thresholding[J]. International Conference on Image Processing,1997,1:604-607.
- [8] Weyrich N, Warhola G T. Wavelet shrinkage and generalized cross validation for image denoising[J]. IEEE Transactions on Image Processing:a Publication of the IEEE Signal Processing Society,1998,7(1):82-90.
- [9] 周 华. 基于动态窗口的自适应中值滤波算法[J]. 计算机应用与软件,2011,28(7):141-143,166.
- [10] 王小兵,孙久运,汤海燕. 基于小波变换的图像混合噪声自适应滤波算法[J]. 微电子学与计算机,2012,29(6):91-95.

是根据有效成分确定最佳采收期的研究较少。本试验结果表明,轮叶党参生长后期,总黄酮和总皂苷含量变化规律不同,采收期越延后,总黄酮提取率越高,而总皂苷提取率越低。在选定的 3 个不同采收期中,综合总黄酮和总皂苷含量变化,确定轮叶党参的最佳采收期为 9 月 30 日。

参考文献:

- [1] 王心春. 野生经济植物——轮叶党参优质高产栽培技术[J]. 吉林林业科技,2000(3):9-11.
- [2] 耿艳秋,胡国宣,孙 伟,等. 长白山轮叶党参资源及开发策略[J]. 吉林农业,2010,11(11):136-137.
- [3] 付成国,文连奎,董 然. 轮叶党参化学成分与药理作用研究进展[J]. 中药材,2007,4(4):497-499.
- [4] 梁志敏,林 喆,原 忠. 轮叶党参化学成分研究[J]. 中国中药杂志,2007,7(13):1363-1364.
- [5] 盛喜德. 轮叶党参无公害栽培[J]. 特种经济动物植物,2010(4):41-42.
- [6] 鲍智娟. 轮叶党参多糖提取及其含量测定[J]. 延边大学学报:自然科学版,2009,12(4):350-352.