

小波分析理论与图像降噪处理

赵广超,肖斌,国闯,高逢顺
(63886 部队,河南 洛阳 471003)

摘要: 简要介绍了小波分析基本理论中的小波变换和小波包变换,重点论述了小波分析在图像降噪处理中的应用及其算法流程。在此基础上,利用 Matlab R2007 进行了图像去噪仿真测试,并对仿真结果进行了分析。结果表明,利用小波分析理论进行图像降噪处理,能够取得较好的降噪效果。

关键词: 小波分析;小波包分析;多分辨率分析;图像降噪;Matlab

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2011)19-0035-03

The image denoising based on wavelet analysis

Zhao Guangchao, Xiao Bin, Guo Chuang, Gao Fengshun
(Unit 63886 of PLA, Luoyang 471003, China)

Abstract: The paper introduces the basic principles of wavelet analysis briefly, including wavelet transform and wavelet packet transform. It proposes the application of wavelet analysis in image denoising and its algorithm process. Then it uses Matlab 2007 to simulate the image denoising, and discusses the simulation in detail. The simulation result proves that the wavelet analysis has preferable effects in image denoising.

Key words: wavelet analysis; wavelet packet analysis; multi-resolution analysis; image denoising; Matlab

由于各种随机因素的影响,图像在传输过程中经常会产生噪声,会对进一步的边缘检测、图像分割、特征提取和模式识别等处理带来诸多不便,因此,采用适当的方法减少噪声是一项非常重要的图像预处理步骤。经典的降噪算法有均值滤波、中值滤波、高斯滤波和维纳滤波等^[1],但这些算法使图像变换后的熵增高,细节部分丢失,不能揭示图像信息的非平稳特性,也无法得到图像信息的相关性。

小波分析理论作为一种强有力的数学分析工具,近年来广受关注,其在图像处理中的研究应用也逐渐深入。小波变换特有的低熵性、去相关性使得小波在图像降噪处理方面比经典的降噪算法更具优势。本文对小波分析理论在图像降噪方面进行了深入研究,并利用 Matlab R2007 进行图像降噪仿真,通过仿真数据验证小波分析理论在图像降噪处理方面的效果。

1 小波分析基本理论

小波变换的基本思想是用一组函数序列表示或逼近待分析信号,与传统的傅里叶分析相比,小波变换在时域和频域都具有表征信号局部特征的能力,通过平移和伸缩能够聚焦信号的任意细节并进行时频域处理,既

可以看到信号的全貌,又可以分析信号的细节,并保留数据的瞬时特性,因此有“数学显微镜”之称。

1.1 小波变换

小波变换的核心思想是多分辨率分析方法。在小波分解过程中,将待分析信号通过小波分解成两部分,得到低频系数向量和高频系数向量,两个连续的低频系数之间损失的信息可以由高频系数获得,然后将低频系数向量继续分解,而高频系数保持不动。

对于图像处理而言,采用多尺度二维小波分解方法,即二维多分辨率分析方法。每一次的分解结果包含低频、高频水平分量、高频垂直分量、高频对角分量四部分,下一层变换分解是在低频部分进行的,分解后的结构示意图如图 1(a)所示。其中,A 是低频系数,用于下一层的分解,H 是高频水平方向系数,V 是高频垂直方向系数,D 是高频对角线方向系数。

1.2 小波包变换

给定正交小波函数,可以生成一组小波包基,每个基都提供了一种特定的信号编码方法,它能保留信号的全部能量,并对信号的特征进行准确的重构,这些小波

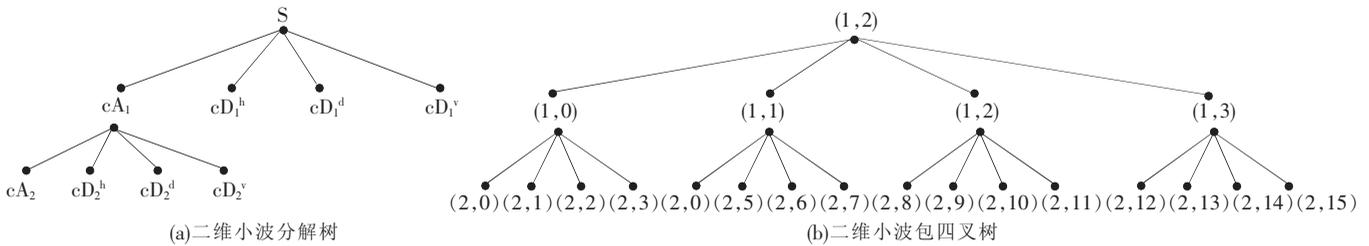


图1 两层二维小波分解树和二维小波包四叉树示意图

包可以用于对给定信号进行多种分析和解释。

正交小波分解过程是将低频系数分为新的低频系数向量和高频系数向量两部分,然后将新的低频系数向量继续分解,而高频系数保持不动。而对于小波包分解来说,每个高频系数向量也使用和低频系数分解同样的方法,分成两个部分,这样就提供了更为丰富的信号分析方法;在一维分析中产生了完整二叉树,而在二维分析中产生了四叉树^[2],图1(b)所示是二维小波包四叉树示意图。

小波包分析方法是多分辨率小波分析的推广^[4],与小波分析相比,小波包可以对信号的高频部分进行更加细致的刻画,具有更加精准的局部分析能力,对信号的分析能力更强。

2 图像的降噪处理

图像降噪在信号处理中是一个经典问题,传统的降噪方法多采用平均或线性方法(如维纳滤波)进行,但降噪效果不够好。随着小波理论的日益完善,它以自身良好的时频特性在图像降噪领域受到越来越多的关注,开辟了用非线性方法降噪的先河^[2]。

2.1 小波分析与图像的降噪处理

实际获得的图像一般都因受到某种干扰而含有噪声。引起噪声的原因有敏感元器件的内部噪声、传输通道的干扰及量化噪声等。噪声产生的原因决定了噪声的分布特性及与图像信号的关系^[3]。对于图像而言,信息主要分布在低频区域,噪声主要分布在高频区域,而图像细节也分布在高频区域,传统的低通滤波方法将图像的高频部分滤除,虽然能够达到降噪的目的,但也破坏了图像细节。利用小波理论可以构造出一种既能降低图像噪声,又能够保持图像细节信息的方法。小波能够降噪主要得益于小波变换的如下特点^[2]:

(1)低熵性。小波系数的稀疏分布,使图像变换后的熵降低,也使信号和噪声所在的频带得到了统计意义上的分离。

(2)多分辨率特性。采用多分辨率的方法可以非常好地刻画信号的非平稳性,如突变和断点等。因此,可以在不同分辨率下根据信号和噪声的分布去除噪声。

(3)去相关性。小波变换可对信号去相关,且噪声在变换后有白化趋势,所以小波域比时域更利于去噪。

(4)基函数选择灵活。小波变换可以灵活选择基函数,也可以根据信号特点和降噪要求选择多带小波、小

波包等,对不同的场合,可以选择不同的小波母函数。

2.2 算法流程

小波在图像处理上的应用思路主要采用将空间或时间域上的图像数据变换到小波域上,成为多层次的小波系数,根据小波基的特性,分析小波系数的特点,针对不同需求处理小波系数,再对处理后的小波系数进行逆变换,得到所需图像。小波阈值降噪是实现简单而且效果较好的降噪方法,可以通过二维的小波或小波包来实现。小波变换降噪算法流程如下:

(1)选择合适的小波和恰当的分解层次,对图像进行小波分解;

(2)对分解后的高频系数进行阈值量化,对于分解的每一层,选择一个恰当的阈值,并对该层高频系数进行软阈值量化处理;

(3)根据小波分解后的第 N 层近似(低频系数)和经过阈值量化处理后的各层细节(高频系数),计算图像的小波重构。

上述算法流程中,最关键的是选择阈值及进行阈值量化,阈值函数体现了对小波分解系数的不同处理策略及估计方法。常用阈值处理方法有3种:

(1)默认阈值消噪:用函数 `ddencmp` 生成默认阈值,再用函数 `wdencomp` 进行消噪处理。

(2)给定阈值消噪:利用经验公式给定阈值,这种阈值可信度比默认阈值高,用函数 `wthresh` 进行阈值量化处理。

(3)强制阈值消噪:直接将小波分解后的高频系数全部置零,即滤除所有的高频部分,这种方法简单,但容易失去图像中的有用成分。

图像的小波包降噪和小波降噪算法思想基本相同,此处不再赘述。另外,在进行小波包分解时可采用多种小波包基,通常根据分析图像的要求选择最优基,最优基可以通过函数 `besttree` 进行选择。

3 Matlab 仿真与分析

图像一般是二维信号,需要采用二维小波工具进行处理,本文用到的工具主要是二维小波变换和二维小波包变换。本文利用 Matlab R2007 对图像 `sinsin` 进行降噪处理测试,并对处理过程中发现的问题进行分析总结。

3.1 图像降噪处理的 Matlab 实现

本文利用 Matlab 对图像 `sinsin` 进行默认的阈值降噪处理,原始图像如图2(a)所示。首先在原始图像中加入

噪声,加入噪声后的图像如图 2(b)所示,再利用小波处理函数 `wdenmp` 进行降噪处理。处理之前,利用函数 `ddenmp` 寻找处理参数,默认的参数如下:

```
thr=4.4174(thr 为这全局阈值);
sorh=s(软硬阈值选择,s 为软阈值);
keepapp=1(是否对低频系数进行处理,1 为否)。
```

降噪过程中,小波分解使用小波“`sym4`”,执行到第二层。降噪处理后的图像如图 2(c)所示。

利用小波包的处理过程与上述过程类似,不同的是降噪函数选用的是小波包处理函数 `wpdnmp`,默认的处理参数如下:

```
thr=4.968 5;
sorh=h(硬阈值);
keepapp=1;
crit=sure(熵名称)。
```

降噪过程中,小波包分解使用小波“`sym4`”,执行到第 3 层。降噪处理后的图像如图 2(d)所示。

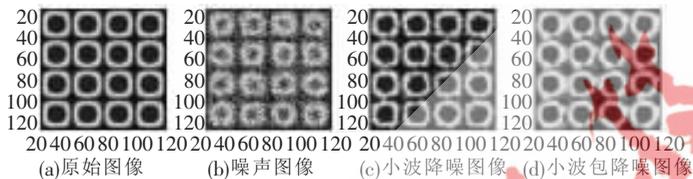


图 2 图像的小波降噪与小波包降噪

3.2 几种图像降噪方法的对比

以高斯噪声和椒盐噪声为例,将几种常用的图像降噪处理方法进行对比。

在原始图像中加入高斯噪声,并通过中值滤波、自适应滤波、小波变换、小波包变换对图像进行降噪处理。图 3 所示是几种图像降噪处理方法对含高斯噪声图像的处理结果。其中,小波变换相关参数: `thr=0.325 5`, `sorh=s`, `keepapp=1`; 小波包变换相关参数: `thr=4.968 5`, `sorh=h`, `keepapp=1`, `crit=sure`。



图 3 高斯噪声

在原始图像中加入椒盐噪声,并通过中值滤波、自适应滤波、小波变换、小波包变换对图像进行降噪处理。图 4 所示是几种图像降噪处理方法对含椒盐噪声图像的处理结果。其中小波变换相关参数: `thr=0.179 4`, `sorh=s`, `keepapp=1`; 小波包变换相关参数: `thr=4.968 5`, `sorh=h`, `keepapp=1`, `crit=sure`。

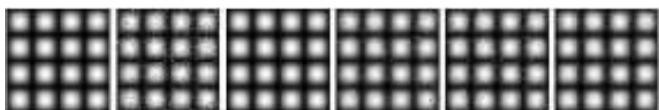


图 4 椒盐噪声

3.3 结果分析

使用阈值降噪处理不可避免会造成图像细节小程度上的丢失,因此,在降噪过程中需要考虑降噪与所保留图像细小变化之间的权衡问题。从图 2 可以看到,对同一幅图像,小波变换和小波包变换两种方法都不同程度地降低了图像质量,但由于对高频细节部分的处理不同,图像平滑度上也呈现明显的不同。

分析图 3、图 4 可知,整个处理过程中,自适应滤波对高斯噪声的去除效果较好,而中值滤波对含有椒盐噪声的图像处理效果明显。利用小波变换和小波包变换,采用的阈值处理方法有软、硬两种。硬阈值处理可以很好地保留图像边缘等局部特征,但图像会出现伪吉布斯效应等视觉失真现象^[4],而软阈值处理相对较平滑,处理得到的信号和原始信号具有同样的光滑性^[5],但可能会造成边缘模糊等失真现象^[4]。虽然自适应滤波和中值滤波对高斯噪声和椒盐噪声的去除各具优势,但对于含有多种噪声的图像而言,小波变换和小波包变换还是更胜一筹。

在利用 Matlab 进行默认阈值处理的过程中,本文利用 `ddenmp` 函数寻找默认的处理参数,在处理过程中,随着所加噪声强度的变化,小波变换寻找的默认全局阈值也呈现出波动,而小波包变换的处理过程中则并非如此。另外需要说明的是,降低图像的噪声,对于保证图像质量,进行图像压缩也是一个关键环节。

图像信息在现代生活中占据着举足轻重的地位,随着小波分析理论不断发展,其在图像处理中的应用越来越多。本文对小波分析理论进行深入研究,将小波分析理论与图像降噪处理相结合,利用 Matlab R2007 进行图像降噪处理仿真,并以数据、图像等形式给出处理结果,通过对实验结果的分析,验证了用小波分析理论进行图像降噪处理能取得较好的效果。当然,图像降噪仅仅是小波分析理论在图像处理应用中很小的一部分,其在图像的压缩、增强、平滑、融合、视频图像分析等方面也具有更加广泛而深刻的应用价值。

参考文献

- [1] 刘娅,李春明,李栋.基于小波分析的图像去噪处理[J]. 电脑开发与应用,2009,22(9):33-34.
- [2] 葛哲学,沙威.小波分析理论与 MATLAB R2007 实现[M]. 北京:电子工业出版社,2007.
- [3] 求是科技.Matlab7.0 从入门到精通[M].北京:人民邮电出版社,2006.
- [4] 关履泰.小波方法与分析[M].北京:高等教育出版社,2007.
- [5] 飞思科技.MATLAB 6.5 辅助图像处理[M].北京:电子工业出版社,2003.

(收稿日期:2011-07-20)

作者简介:

赵广超,男,1983 年生,硕士,工程师,主要研究方向:通信工程,计算机科学与技术。

《微型机与应用》2011 年第 30 卷第 19 期