

文章编号: 0258-7025(2006)Supplement-0280-04

小波变换在二维图像背景处理中的应用

向汝建, 田英华, 季云松, 雒仲祥

(中国工程物理研究院应用电子学研究所, 四川 绵阳 621900)

摘要 小波变换是一种新的信号处理方法, 基于小波变换和离散小波变换的原理和算法, 提出利用小波变换系数进行区域保护滤波的方法, 并通过对模拟图像和实际测量图像的处理, 验证了该方法在处理单光斑二维图像中的有效性。

关键词 傅里叶变换; 小波变换; 滤波; 图像处理

中图分类号 TN911.73 **文献标识码** A

Application of Wavelet Transform in Background Processing of 2D Image

XIANG Ru-jian, TIAN Ying-hua, JI Yun-song, LUO Zhong-xiang

(Institute of Applied Electronics, China Academy of Engineering Physics, Mianyang, Sichuan 621900, China)

Abstract Wavelet Transform is a new technique for signal processing. Based on the principle and algorithm of wavelet transform and discrete wavelet transform, a method of fitting with localized protecting by wavelet transform coefficient is presented. The method is used to process a simulating image and some real images, and all the results show that the new method is quite suitable for two dimensional the image with single spot.

Key words Fourier transform; wavelet transform; fitting; image processing

1 引 言

在计算 CCD 输出的二维单光斑图像中目标光斑的位置、光斑半径等参量时, 会遇到图像背景噪声的处理问题。图像背景噪声有多种处理方式, 例如平均背景法、均值滤波、模式匹配法和频谱滤波法等, 但这些方法都有各自的适用范围和各自的不足^[1]。

小波变换(Wavelet Transform)是 20 世纪 80 年代才提出的新概念, 是针对信号处理的特殊要求而产生的新方法。通过近 20 多年的发展, 小波变换理论和实际应用都得到了极大的发展^[2]。本文将讨论利用离散小波变换在二维单光斑图像处理中的应用问题。

2 小波变换及其实现

小波变换就是利用不同尺度的小波基函数分析信号数据, 同时给出信号的时域起伏特性和频域的

分布特征, 小波变换是基于短时傅里叶变换(Short-time Fourier transform, STFT)发展起来的, 它优于傅里叶分析之处是它在空域和时域都是局部化的, 其局部化各处的频率自动变换, 在高频处取窄的时(空)窗口, 非常适合局部突变信号的分析; 在低频处取宽的时(空)窗口, 适合处理非平稳信号分析, 在图像处理、模式识别、机器人视觉、量子力学等领域已经得到广泛的应用^[2]。

一个平方可积函数 $f(x)$ 的傅里叶变换定义为^[2]

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \exp(-i\omega x) dx, \quad (1)$$

严格地说, 连续傅里叶变换能给出信号包含的各种频率成分的信息, 但很明显, $F(\omega)$ 散失了信号频率的位置信息。针对傅里叶变换结果缺少频率成分的位置信息的弱点, 1946 年, Dennis Gabor 提出了短时傅里叶变换的概念, 即对信号的不同时空尺度上分别进行傅里叶变换, 变换结果映射为二维以时

(空)和频率为变量的函数(分布)。短时傅里叶变换提供了信号时(空)和频率的对应关系,但不足的是,对于给定的窗口宽度,整个信号都将以相同的窗口宽度进行分析,但实际的信号要求有更多分辨率的窗口进行分析,这就是小波变换。

连续小波变换是基于短时傅里叶变换发展起来的,并克服了短时傅里叶变换的信号分辨率问题,利用信号和小波函数的卷积代替短时傅里叶变换的窗口和信号卷积。

连续小波变换的定义为

$$CWT_x(\tau, s) = \psi_x^s(\tau, s) = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \int x(t) \psi^* \left(\frac{t-\tau}{s} \right) dt, \tag{2}$$

式中的变换函数有两个自变量, τ 和 s 分别是变换起始位置和尺度因子,函数 $\psi(t)$ 是变换函数,称为“母小波”。通过选择不同的尺度因子 s 和起始位置 τ ,可以得到小波变换对一维信号的处理结果。

由(2)式可知,对于一个信号的处理,可以连续的选取尺度因子 s 和起始位置 τ ,得到完整的连续小波变换结果,但在实际应用中,这样的变换结果产生了海量的数据,而且根据采样定理,其中的冗余数据太多,浪费计算资源,并消耗计算时间,因此提出了

离散小波变换(Discrete Wavelet Transform, DWT)的概念。离散小波变换并非简单的对连续变换的采样,必须在尺度因子和起始位置两个变量中按采样定理进行离散化处理,并确保变换结果有足够的冗余数据,能实现可逆变换。1988年 Mallat 提出了离散小波变换的方法,即采样小波尺度按 2 的 n 次幂进行的小波变换。

3 一维离散小波变换滤波

一维离散小波变换结果中包含了不同频率和不同尺度的小波基和信号的卷积系数,通过对系数的处理,可以实现对原始信号特定时空、特定频率的信号进行处理,经反离散小波变换后的信号将获得滤波效果。

图 1 给出了一维空间信号和利用 Daubechies4 小波基函数得到的小波系数;图 2(a)给出的是对小波系数滤波的结果,(b)给出的是利用滤波后的系数进行信号重构的结果。

图 3 给出了滤波前后的信号差,从图中可以看出,通过对小波变换系数的处理可以实现对原始信号的滤波功能。

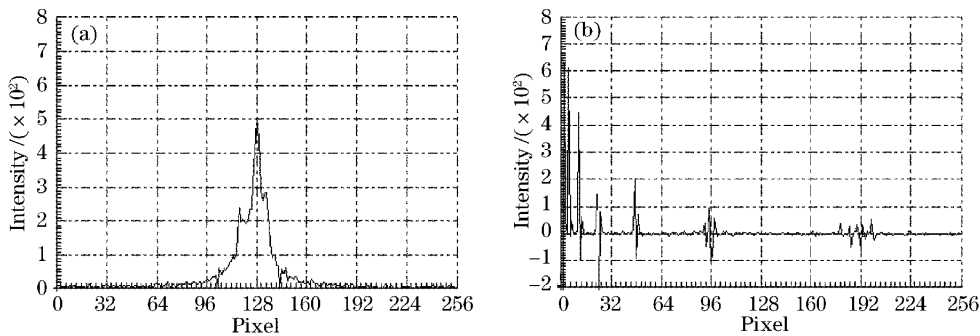


图 1 原始数据和一维小波变换的小波系数

Fig.1 Original data and coefficient of 1D wavelet transform

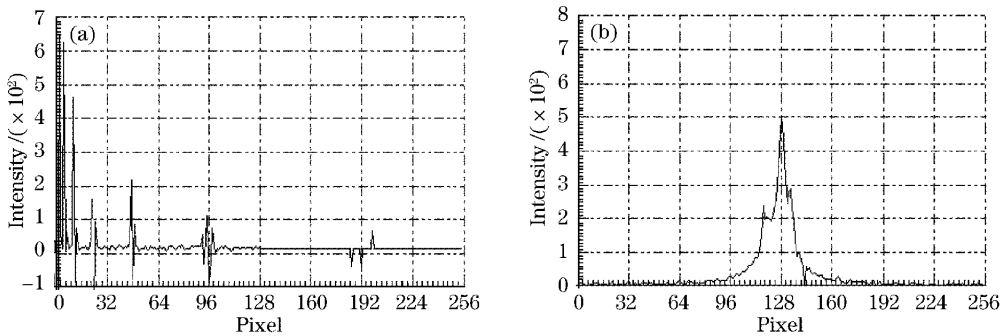


图 2 滤波后的小波系数和重构的数据

Fig.2 Coefficient after filtering and the reconstructed data

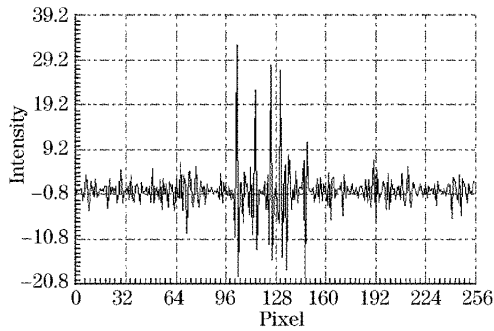


图 3 滤波前后的信号差

Fig. 3 Difference between the original and the reconstructed data

必须指出的是,小波变换系数和小波基函数的选取有关,目前常用的小波基函数有几十种,最常用的有 Battle-Lemare 小波基, Harr 小波基(草帽波), Daubechies 小波基系列, Coiflet 小波基系列、双正交小波基等,不同的应用场景可以选择不同的小波基函数。

4 小波变换在二维单光斑图像处理中的应用

在二维单光斑图像处理中,通常待处理的图像是离散的二维数组,其中包含有信号和背景,由于已知图像的内容为单光斑,因此,就可以通过窗口滤波的形式对图像变换的小波系数进行处理,实现滤除噪声,保留信号的功能。对二维图像信号的处理可以参照二维快速傅里叶变换(FFT)的算法,即先进行所有行的处理,再进行所有列的处理。

在实际的二维 CCD 输出信号处理中,若已知图像包含单个光斑,则可先按照强度一阶矩的方法,计算各行各列的质心,再通过设定保护窗口尺度,实现对小波系数的滤波。

图 4(a)给出了模拟光斑(圆孔衍射分布)和叠加噪声后的强度分布,图 4(b)给出了利用小波变换

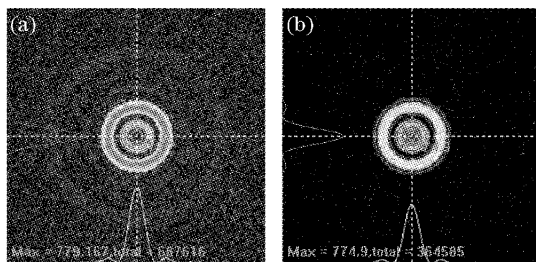


图 4 小波变换滤波前后的图像

Fig. 4 Image before and after wavelet transform filtering

滤波法处理前后的光斑图像;图 5 给出了原始光斑的能量集中度和处理结果中的光斑能量集中度,从处理结果可以看出,小波变换滤波法对单光斑随机背景处理的合理性和有效性。

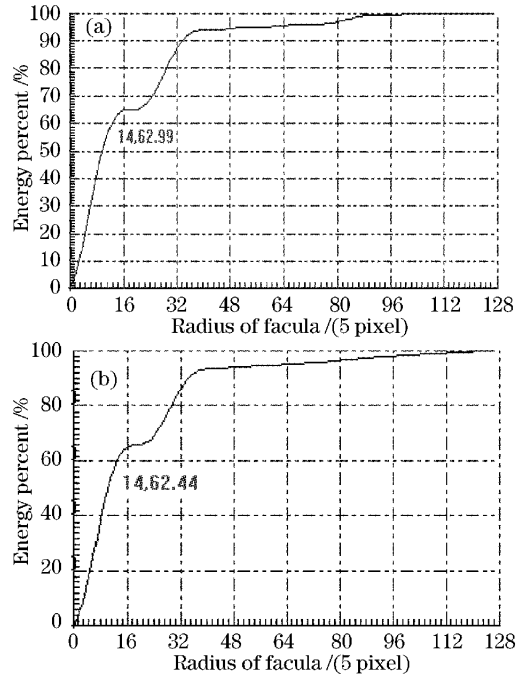


图 5 原始图像(a)和处理后信号(b)能量分布的比较
Fig. 5 Comparison of the energy distribution of the image before (a) and after (b) processing

为了进一步验证小波变换滤波法对真实图像处理的有效性,利用 CCD 的真实测量图像进行小波滤波处理。图 6(a)给出的是实际测量的 CCD 图像,图 6(b)则给出了滤除小波系数中从 128 到 255 的所有系数(设为 0)的信号重构结果(先进行列变换再进行行变换的结果)。对比两图的纵横采样线可以看出,信号的基本形状和峰值改变都不大,而模数转换单位(ADU)的累积值则下降了 285699,从而实现了相对的信号无损背景处理,图中纵向的能量分

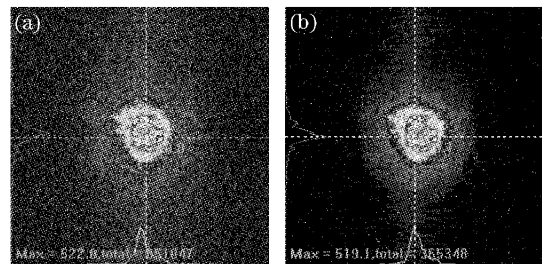


图 6 小波变换滤波对真实 CCD 图像信号的滤波处理结果
Fig. 6 Result of processing the real CCD image with wavelet transform filtering

布是由于 CCD 器件输出的纵向串扰引起的,要消除该部分模数转换单位分布对最终计算结果的影响,需要建立更复杂的计算模型。

5 结 论

小波变换是一种新的信号处理方法,通过对小波变换和离散小波变换的原理和计算过程的介绍,提出了利用小波变换系数进行区域保护滤波的方法,并通过对模拟图像和实际测量图像的处理,验证

了该方法在处理单光斑二维图像中的有效性。

参 考 文 献

- 1 Su Yi, Wan Min. High Energy Laser System [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2004
苏 毅,万 敏. 高能激光系统 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2004
- 2 Jin Jifang. Visual C++ Wavelet Transform and Engineering Application [M]. Beijing: Post & Telecommunication Press, 2004
靳济芳. Visual C++小波变换技术与工程实践 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2004