

小波变换在 CCD 图像边缘检测中的应用

武东生, 刘秉琦

(军械工程学院 光学与电子工程系, 石家庄 050003)

摘要: 对于 CCD 图像的非稳定高斯噪声, 传统的 Fourier 变换法无法消除噪声, 而小波变换在时域和频域同时具有优良的局部化特征, 而且对高频采用逐渐精细的时域或空域步长可以聚焦到分析对象的任意细节, 从而克服了传统 Fourier 变换固定步长等缺点, 因此, 小波变换法可消除这种噪声。本文在分析 CCD 图像噪声的基础上, 利用小波变换和直方图分割方法对目标图像进行了降噪和边缘检测。试验证明此法行之有效。

关键词: CCD 图像; 小波变换; 直方图分割; 边缘检测

中图分类号: TP274-39

文献标识码: A

The Application of Wavelet Transform in CCD Image Edge Detection

WU Dong-sheng, LIU Bing-qi

(Optics & Electron Engineering Department, Ordnance Engineering Institute, Shijiazhuang, 050003, China)

Abstract: For the unstable Gaussian noise of the CCD image, the conventional method of Fourier transform can not eliminate it, but the wavelet transform is the powerful tools of noise elimination, since the wavelet transform in both the time domain and frequency domain has the excellent localization features, and the arbitrary details of analyzed objects can be focused with gradually detailed time domain or frequency domain step at high frequency. Based on the analysis for the CCD image noise, the noise reduction and edge detection is realized with the method of wavelet transform and histogram division. The results show that the clear image edge can be made out after selecting a proper threshold with the histogram division method.

Keywords: CCD image; wavelet transform; histogram division; edge detection

引言

CCD 技术已经在诸多领域得到了广泛的应用, 但由于受目标图像环境、光学系统的衍射、CCD 器件本身的噪声、电子电路干扰等影响, 采集到的图像不可避免地会出现各种类型的噪声, 引起图像质量下降。对于图像信号来说, 目标图像结构的边缘部位是图像信息的主要部分, 它反映了图像的基本特征。因此提取图像的边缘信息在目标辨识方面具有重要的意义。

对于性质随时间稳定不变的信号, 目前分析处理的理想工具仍然是 Fourier 分析。但实际应用中的绝大多数信号是非稳定的, 而特别适用于非稳定信号分析处理的工具是小波分析。由于小波变换在时域和频域同时具有优良的局部化特性, 而且对高频采用逐渐精细的时域或空域步长可以聚焦到分析所需对象的任意细节, 从而克服了传统 Fourier 变换固定步长等

缺点。本文利用小波变换和直方图分割的方法实现了 CCD 图像降噪及边缘检测。

1 小波变换的基本理论

小波函数族 $h_{a,b}(x)$ 的定义为

$$h_{a,b}(x) = |a|^{-\frac{1}{2}} h\left(\frac{x-b}{a}\right) \quad a, b \in R, a \neq 0 \quad (1)$$

式中, a 为伸缩因子; b 为平移因子。小波函数族 $h_{a,b}(x)$ 在相应频域上有:

$$\hat{h}_{a,b}(\omega) = a e^{-i\omega b} \hat{h}(a\omega) \quad (2)$$

可以看出, 当 $|a|$ 减小时, 时宽减小, 频宽增大, 且 $h_{a,b}(\omega)$ 的窗口中心向 $|\omega|$ 增大方向移动。这说明连续小波的局部是变化的, 在高频处时间分辨率高, 在低频处时间分辨率低, 即具有“变焦”的性质。

如果让 a 和 b 在 $R^* \times R$ 上连续变化, 则任意函数 $f \in L^2(R)$ 可以表示为

$$U_f(a,b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int f(t) h^*\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (3)$$

将连续小波的尺度和位移按2的幂次离散化,就可以得到函数 $f(x)$ 的离散小波变换(二进小波变换),即:

$$U_2^k f(x) = f * h_{2^k}(x) = \frac{1}{2^k} \int f(t) h * \left(\frac{x-t}{2^k} \right) dt \quad (4)$$

由小波函数可以构造高通、低通滤波器,用于提取原始信号 S 的近似信号 A 和细节信号 D ,反复对近似信号作小波变换可得到不同层次的近似信号 A_i ($i=1, 2, 3, \dots$)和细节信号 D_i ($i=1, 2, 3, \dots$)。与一维离散小波变换类似,二维小波变换也可以将一个二维信号(图像)逐层分解为近似分量 cA_i 和细节信号 cD_i ,此时的细节信号包括水平方向、垂直方向和对角方向的细节信号,分别对应于 $cD_i^{(h)}$, $cD_i^{(v)}$ 和 $cD_i^{(d)}$ 。

2 CCD 图像噪声分析

由于CCD器件本身具有积分效应,从而使得外部的噪声被大大消除,而器件本身的噪声就成了图像中的主要噪声。下面着重对器件本身产生的噪声作一分析。

2.1 暗电流噪声

CCD器件在无光信号(或电信号)注入时也会有信号输出,即暗电流噪声。

2.2 散粒噪声

无论是光注入还是电注入,光敏区产生的信号电荷都是随机波动的,即形成散粒噪声。散粒噪声与频率无关,在所有的频率范围内有均匀的功率分布。

2.3 复位噪声

由于复位信号围绕某一量值起伏,造成在输出极上输出电压的涨落,即形成了复位噪声。

2.4 光响应非均匀性噪声

由于CCD器件制作工艺的原因,使得均匀光照条件下光敏元输出的信号电荷是不等的,由此形成了光响应非均匀性噪声。

2.5 杂波噪声

杂波噪声主要来源于传输通道及各种器件,它为无规则随机信号,频谱较宽,幅度不等。

由于CCD光敏元处于积分状态,噪声电荷与有用信号电荷一样,在各光敏元中积分形成一个暗信号图像,叠加到目标图像上,使一幅完整清新的图像受到某些“亮条”或“亮点”的破坏。另一方面,由于成像系统小孔径视场光阑的限制,使目标图像边缘模糊化,这些都使得图像质量下降。图像经多次噪声侵蚀后,输出的噪声为高斯形分布,整个频率范围内的分

布呈现非稳定噪声信号。

3 小波变换降噪及图像识别的方法

研究稳定信号的理想工具是Fourier变换,即是说,稳定信号可分解为正弦波的线性组合,以同样的方法可使非稳定信号分解为小波的线性组合。使用小波变换进行噪声滤除、边缘检测有其独特的优点。首先,由于小波变换在不同的频率时域、频域处有不同的分辨率,因而具有“自动变焦”功能;其次,小波变换具有边缘增强功能,这也是本文采取小波变换的主要原因。

进行目标图像降噪和边缘检测的步骤如下:首先对读入图像进行逐层小波分解,抽取各层的近似信号和细节信号,直到可确定出抽取到的某层细节信号和噪声信号大致相同;然后将读入信号与此层细节信号相减即可得到目标图像的大致轮廓。此时,噪声已大大降低了,经小波变换的图像的直方图已接近正态分布。为了精确确定目标图像边缘,选取合适的直方图门限对图像进行分割。设图像灰度的均值为mean,均方根为std,则门限window可表示为

$$\text{window} = \text{mean} + k * \text{std}$$

式中 k 为常数,可根据噪声的大小进行选取。

4 试验验证

为了验证此种方法的应用效果,进行了实验验证。原始图像如图1所示。试验是利用Matalb工具箱来完成的,工作可大致分为3部分:首先是噪声图像

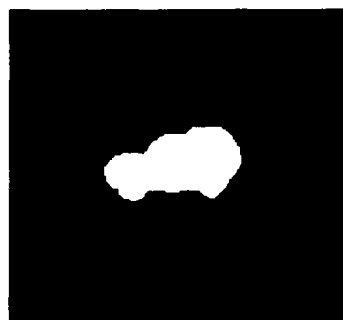


图1 读原始图像

Fig.1 The original image

的生成。依据衍射受限系统成像理论进行理想图像与系统点扩散函数的相关运算以便得到衍射后的图像,然后再加入高斯噪声(均值为0.1,均方根为0.01),即得到噪声图像,如图2所示。第2步,利用小波变换进行图像的降噪和边缘检测。用小波分析工具箱提供的函数对图像进行多层分解及细节分量、近似分量的提取,试验中对图像进行3层小波分解。为了得到和原



图2 加入噪声后的图像

Fig. 2 The image obtained after adding noises

图像同样大小的图像,重组第2层的近似分量和细节分量,将原图像和第1、2层的细节分量相减,取绝对值后得到降噪后的图像。第3步,利用给定的门限(k 取3)确定目标图像边缘的准确位置,如图3所示。



图3 最后得到的图像

Fig. 3 The image obtained finally

5 结论

小波变换可以对图像进行不同层次的分解与重组。它所具有的变焦、边缘增强功能使其成为图像处理的有效工具,特别是对于传统方法无法处理的非稳定高斯噪声,利用小波变换工具可以很好地进行图像的降噪及边缘检测。与直方图分割法联合应用可准确地确定目标的边缘位置。试验证明此种方法对于CCD图像的降噪和边缘检测是行之有效的。

参考文献:

- [1] 王庆友. CCD 应用技术[M]. 天津:天津大学出版社, 2000.
- [2] 伯晓晨,李涛,刘路,等. Matlab 工具箱应用指南-信息工程篇[M]. 北京:电子工业出版社,2000.
- [3] 马仰军,等. 微光 CCD 相机的噪声分析与处理[J]. 应用基础与工程科学学报,2001,9(2-3):277-282.
- [4] 杨松,等. 小波变换在图形边缘检测中的应用[J]. 北京:北京工业大学学报,2002,26(增刊):80-83.
- [5] Kathrin Berkner. A new hierarchical scheme for approximating the continuous wavelet transform with application to edge detection [J]. IEEE Signal Processing letters,1999,6(8):193-195.

(上接第 27 页)

若空气的折射率为 $n=1$,三个直角误差 $\delta_{23}=\delta_{42}=\delta_{34}=\delta$,代入(26)式得,

$$\beta_{i,j,k}=2n'\sqrt{8/3}\delta \quad (27)$$

5 结论

用矢量方法分析了理想角锥棱镜逆向反射特性及角锥棱镜的直角误差对光路的反射特性的影响。事实上,在高精度测距过程中,为了提高检测精度,任何

一个角度误差都不能忽略。分析结果表明,高精度角锥棱镜的选择对测量的误差修正具有参考意义。

参考文献:

- [1] 翁兴涛,等. 角锥棱镜的直角面形问题[J]. 光学技术, 2002,28(1):71-73.
- [2] 欧家鸣,等. 反射定律的三种表达形式[J]. 云南师范大学学报,2000,20(1):57-60.
- [3] 李晓彤. 几何光学和光学设计[M]. 浙江:浙江大学出版社,1997. 4-5.