

文章编号 :1001-2486(2000)06-0117-03

一种基于小波变换的红外图像对比度增强技术*

宫武鹏,王永仲

(国防科技大学理学院,湖南长沙 410073)

摘要 将小波变换理论应用于红外图像处理,提出一种基于小波变换的红外图像对比度增强方法。对低对比度的红外图像施行小波变换,得到其多尺度梯度分布;合理地增强其在各个尺度上的梯度模值,直接扩大尺度空间图像的动态范围,既增强了图像的对比度,又控制了噪声。实验结果表明,与直方图均衡方法相比,此方法效果更佳。

关键词 对比度增强;多尺度梯度;小波变换;红外图像

中图分类号 :TN911.73 **文献标识码** :A

Contrast Enhancement of Infrared Image via Wavelet Transform

GONG Wu-peng, WANG Yong-zhong

(College of Science, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract A new scheme of contrast enhancement of infrared image via wavelet transform is proposed. By means of wavelet transformation of the low contrast infrared image, its distribution of multiscale gradient can be achieved. We improve image contrast by modifying the modulus of the gradient image on multiple scales rationally and enlarging its dynamic scope in scale space directly, and we can control noise magnification. Experimental results demonstrate this method is better than histogram equalization under this circumstance.

Key words contrast enhancement; multiscale gradient; wavelet transform; infrared image

由于红外探测器本身固有的特性,红外图像普遍存在目标与背景对比度较差、边缘模糊、噪声较大等特点。对此类图像需要进行对比度增强,使原来人眼不易识别的目标显现出来。我们较常用的方法是对图像的灰度进行线性或非线性变换、甚至均衡化,以生成合适的直方图结构,从而达到增强对比度的作用。根据 Weber 理论,人眼对较暗区域的噪声要比亮区内的噪声要敏感得多。由于红外图像背景一般较暗,因此,如果采用此类方法,放大的噪声会使人较敏感地感觉到,因此增强效果并不理想。

图像的对比度正比于图像灰度强度的相对变化。在灰度图像的局部区域内,对比度与灰度梯度的大小高度相关,低对比度往往预示着较小的灰度梯度;反之亦然。因此,可以通过增强图像灰度梯度的大小,达到增强图像对比度的目的。实际上,图像的对比度是一个多尺度的概念。如果选择某个平滑函数(如 B 样条函数)的导数为母小波,对图像进行小波变换,就可以得到图像的多尺度梯度^[1]。本文正是通过对红外图像进行小波变换,然后增加其多尺度梯度的大小,并直接扩大其在尺度空间的动态范围,最后进行小波逆变换实现图像的对比度增强。

1 小波变换和图像的多尺度梯度

为了得到图像的多尺度梯度,需选择一个平滑函数,用它的一阶导数作为小波函数,并且小波函数必须满足容许性条件。定义两个有方向性的小波分别是平滑函数 $\phi(x, y)$ 的一阶偏导数:

$$\psi^1(x, y) = \frac{\partial}{\partial x} \phi(x, y), \quad \psi^2(x, y) = \frac{\partial}{\partial y} \phi(x, y) \quad (1)$$

假定图像 $f(x, y)$ 能量有限,即 $f(x, y) \in L^2(R^2)$ 。在尺度 2^j 下, $f(x, y)$ 的二进小波变换定义为:

$$w_{2^j}^k f(x, y) = f * \psi_2^k(x, y), \quad k = 1, 2 \quad (2)$$

* 收稿日期:2000-03-09
基金项目:国家部委基金资助项目
作者简介:宫武鹏(1973-)男,博士生。

其中 $\psi_2^k(x, y) = 2^{-2j} \psi^k(2^{-j}x, 2^{-j}y)$, * 是卷积运算。

从(2)式的定义可知, $f(x, y)$ 在二进尺度下的两个小波变换构成了 $f(x, y)$ 在该尺度被 $\phi(x, y)$ 平滑后的梯度分量。故图像的多尺度梯度定义为

$$\begin{aligned} \nabla_2 f(x, y) &= (w_2^1 f(x, y), w_2^2 f(x, y)) \\ &= \frac{1}{2^{2j}} \nabla(\phi_2 * f)(x, y) \\ &= \frac{1}{2^{2j}} \nabla f * \phi_2(x, y) \end{aligned} \quad (3)$$

通常用梯度的模 $\rho_2 f(x, y)$ 和它的角度 $\theta_2 f(x, y)$ 来表示它的两个分量, 其中定义为

$$\rho_2 f(x, y) = \sqrt{(w_2^1 f(x, y))^2 + (w_2^2 f(x, y))^2} \quad (4)$$

$$\theta_2 f(x, y) = \arctan \left[\frac{w_2^2 f(x, y)}{w_2^1 f(x, y)} \right] \quad (5)$$

其次, 小波变换(2)式是可逆的, $f(x, y)$ 的多尺度梯度表示 $\{\nabla_2^j f(x, y), j = 1, 2, \dots, J\}$ 与平滑信号 $S_{2^j} f(x, y) = f * \phi_2(x, y)$ 一起构成了 $f(x, y)$ 的完备表示。

2 噪声的小波变换特性

为了简单起见, 以一维噪声为例, 考虑连续小波变换, 分析其随尺度的传播特性。对二维情况的分析亦类似。

对于脉冲噪声 $f(x) = \delta(x)$, 其连续小波变换特性为

$$|w_\delta(s, x)|^2 = (1/s^2) |\psi(x/s)|^2 \quad (6)$$

即随着尺度 s 的增大, 其小波变换的幅值在减小。

对于均值为 0, 方差为 σ^2 的高斯白噪声, 其连续小波变换特性为:

$$\begin{aligned} E |w_n(s, x)|^2 &= \frac{\sigma^2 \|\psi\|^2}{s} \\ \text{Var} |w_n(s, x)|^2 &= \frac{2\sigma^4 \|\psi\|^2}{s^2} \end{aligned}$$

即随着尺度 s 的增大, $|w_n(s, x)|^2$ 的期望和方差都在减小。

因此, 可以得出如下结论: 对于脉冲噪声和高斯白噪声, 在小波变换域, 随着尺度的增加, 噪声模的期望和方差至少以线性减小。

3 对比度增强算法

(1) 首先对图像进行小波变换, 得到变换后的图像

$$\{W_2^k f(x, y), j = 1, 2, \dots, J, k = 1, 2; S_{2^j} f(x, y)\}$$

(2) 对平滑图像 $S_{2^j} f(x, y)$ 进行线性拉伸, 扩大它的动态范围到显示设备的动态范围;

(3) 对图像的梯度模值进行变换:

$$u_2(x, y) = k_j \times \rho_2(x, y) \quad (8)$$

其中拉伸因子 k_j 在每一固定尺度下为常数。且满足

$$0 \leq k_j \leq 1/\max\{\rho_2(x, y)\} \quad (9)$$

可以选取一组不同的 k_j 来增强图像中对应尺度的特征。因为噪声的梯度模在大尺度下变得很小, 选择 j 大时 k_j 也很大, 而 j 小时 k_j 为 1, 这样既达到了增强图像的目的又有效地控制了噪声。

(4) 小波逆变换, 得到增强后的图像。

4 实验结果

选择平滑函数为三次基数 B 样条函数。图 1(a) 为一幅 200×287 的 $8 \sim 12 \mu\text{m}$ 的红外测试图像。图

图 1(b) 为用我们的方法增强了以后的图像, 其中 $k_1 = 1$ 、 $k_2 = 4$ 、 $k_3 = 4$ 。图 1(c) 为直方图均衡化以后的结果。很明显, 直方图均衡以后, 图像变得更亮, 却更模糊, 且图像中的噪声很大, 对比度反而降低了。

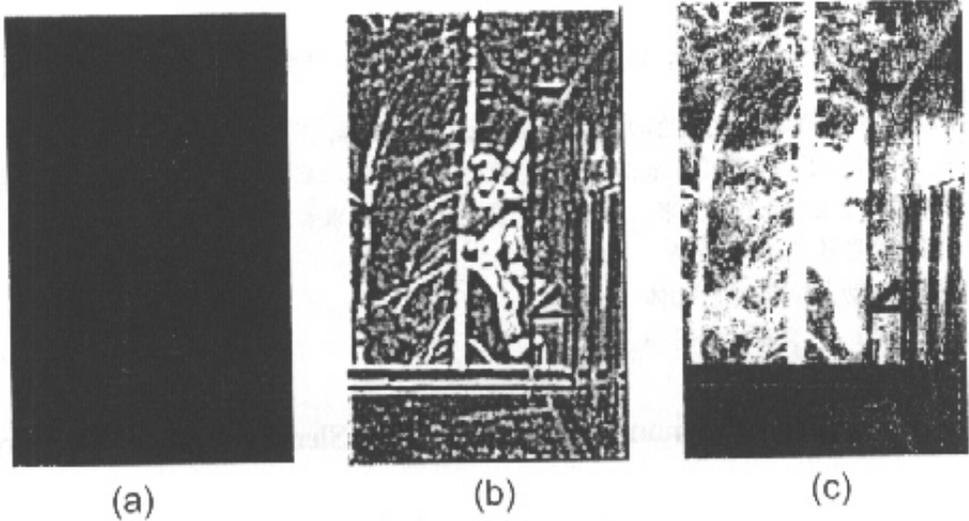


图 1 一幅低对比度红外图像的对比度增强

Fig. 1 Contrast enhancement of a low contrast infrared image

5 小结

本文提出了一种基于小波变换理论的红外图像增强技术, 即对低对比度的红外图像, 通过施行小波变换, 得到该图像的多尺度梯度分布, 增强多尺度梯度模的大小, 并扩大其在尺度空间的动态范围, 就可以实现图像的对比度增强。这种方法有三个优点: 由于采用小波变换而带来的高计算效率, 图像的梯度提供了比直方图更直接、更多的空间信息; 由于是在多个尺度下进行的, 所以可有选择地增强某种尺度的图像特征, 从而有效地控制噪声。实验结果表明该方法行之有效。

参考文献:

- [1] Mallat S, Zhong S. Characterization of signals from wavelet Edges[J]. IEEE Trans. Pattern Anal. And Machine Intell., 1992, 14: 710 ~ 731.
- [2] Neyenssac F. Contrast enhancement technique using the Laplace - of a - Gaussian filter[J]. CVGIP: Graphical Models and Image Processing, 1993, 55(6): 447 ~ 463.
- [3] Beghdadi A, Negrate A Le. Contrast enhancement technique based on local detection of edges[J]. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 1986, 35: 234 ~ 259.
- [4] 李立霞等. 小波去噪的一种新算法[J]. 信号处理, 1996, 1(3): 261 ~ 266.

