

基于小波变换的低对比度图像增强

吴颖谦, 施鹏飞

(上海交通大学图像处理与模式识别研究所, 上海 200030)

摘要:针对传统算法存在噪声过增强的问题,提出了基于小波分析的图像增强算法。在小波变换多尺度分析的基础上,算法对图像多尺度分解得到的小波系数进行缩减去噪,然后在不同尺度上对各分解系数进行不同程度的增强;对同一尺度的系数进行非线性处理以增加对比度;增强低频子带图像的对比度以保证整体的增强效果。实验表明,该算法能有效地增强低对比度图像,减小了噪声的增强幅度,使结果图像具有很好的视觉效果。

关键词: 小波变换; 图像对比度增强; 多尺度分析; 人类视觉特性

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2276(2003)01-0004-04

Approach on image contrast enhancement based on wavelet transform

WU Ying-qian, SHI Peng-fei

(Institute of Image Processing & Pattern Recognition, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China)

Abstract: Image enhancement is an important issue of image processing technique, which is used to improve the visual quality of image. Pointing at the shortcoming of noise over-enhancement of traditional algorithm, a wavelet-based approach for image contrast enhancement is proposed. On the basis of taking full advantage of multiscale wavelet analysis, firstly the algorithm takes a step of wavelet shrinkage and then differently enhances the coefficients at each scale. To achieve a better visual effect, the algorithm takes in account human visual system while enhancing the wavelet coefficients. Experiment of the algorithm demonstrates that the algorithm avoids over-enhancement of noise while enhancing contrast of the image with good visual effect.

Key words: Wavelet transform; Image contrast enhancement; Multiscale analysis; Human visual characteristic

1 引言

直方图均衡、自适应直方图均衡和反锐化掩模等

方法是最常用的图像增强方法,它们在增强过程中不可避免地会带来噪声的过增强。这些方法用于低信噪比时,会严重影响视觉质量^[1~3]。基于小波变换的方法提供了解决这一问题的新途径。小波的多尺度、

收稿日期:2002-02-26; 修订日期:2002-07-02

作者简介:吴颖谦(1974-),男,湖北武汉市人,硕士,主要从事图像压缩、图像处理、小波分析、演化计算等方面的研究工作。

空频域分析特性适合于增强处理。

2 基于 DWT 的增强方法

2.1 图像的多尺度小波分解和合成

较之傅里叶变换,小波变换拥有空域(时域)和频域“变焦距”分析能力。对二维函数 $f(m, n) \in l^2(Z^2)$ 进行离散小波变换,能够得到一个低通子带 S_j 和三个具有方向选择性的高通子带图像 H_{ij} ,对低通带 S_j 继续分解可以得到 $f(m, n)$ 的多级小波分解。这一分解过程的结果可以表示为:

$$W(f(m, n)) = \{(H_{i,j} = W_j[f(m, n)]), S_j\} \\ 1 \leq i \leq 3, 1 \leq j \leq J \quad (1)$$

式中 $H_{i,j}$ ——尺度 j 和方向 i 上的细节信息;

S_j ——在最高尺度 j 上对图像的概貌描述,代表了图像的低频信息。

图像的高频内容集中在低尺度的高通带 $H_{i,j}$ 中,而图像中噪声部分主要集中于低尺度的 $H_{i,j}$ 中。为克服普通增强方法中常有的对噪声过分增强的缺点,应该对不同尺度的分解系数进行不同程度的增强。单一尺度处理的增强方法是难以满足要求的,这一差别表明了多尺度分析方法在图像增强中所具有的优势。

本算法将处理整体对比度极低的图像,因而低通带 S_j 也被增强,以保证原图像的整体对比度有效提升;对高尺度的高通带 $H_{i,j}$ 直接进行增强以提升细节内容的对比度;对低尺度的 $H_{i,j}$ 先进行阈值去噪以减少图像中的高频噪声内容,再增强去噪的结果,其过程为:

$$\hat{W}(f(m, n)) = \{\hat{H}_{i,j} = p(W_j[f(m, n)]), \hat{S}_j = \\ p(S_j)\} \\ 1 \leq i \leq 3, 1 \leq j \leq J \quad (2)$$

式中 $p(\cdot)$ ——处理小波分解得到的各系数的函数,它包括阈值噪声缩减和增强步骤;

$\hat{H}_{i,j}, \hat{S}_j$ ——处理后的小波系数和尺度系数。

2.2 基于软阈值的小波缩减

在基于小波变换的去噪方法中,软阈值是一个常

用的方法。它的基本思想是:在小波域中,信号的能量主要集中于部分系数,而信号中噪声的能量分布于所有的系数中,所以使用公式(3)所示的非线性函数能从各系数中减少信号中的噪声内容^[4]。

$$\hat{H}_{i,j}(n_1, n_2) = T(H_{i,j}(n_1, n_2), t_{i,j}) = \\ \text{sign}(H_{i,j}(n_1, n_2))(|H_{i,j}(n_1, n_2)| - t_{i,j})_+ = \\ \begin{cases} H_{i,j}(n_1, n_2) + t_{i,j}, & \text{如果 } H_{i,j}(n_1, n_2) < -t_{i,j} \\ 0, & \text{如果 } |H_{i,j}(n_1, n_2)| \leq t_{i,j} \\ H_{i,j}(n_1, n_2) - t_{i,j}, & \text{如果 } H_{i,j}(n_1, n_2) > t_{i,j} \end{cases} \quad (3)$$

式中 $t_{i,j}$ ——与高通带系数方差成比例的阈值。

算法对所有的高通子带系数去噪,并将去噪后的系数作为非线性增强过程的输入。

2.3 多尺度非线性增强

使用非线性函数增加子带系数间的差别,由于图像分解得到的小波系数对应于不同尺度上的细节分量,该非线性函数能有效地提升各尺度上细节分量之间的对比度,并且能根据系数的值来控制增强的幅度^[5,6],与此同时,这一增强过程也用于求尺度系数,以保证图像的整体对比度的提升。非线性函数表示为:

$$\hat{H}_{ij}(n_1, n_2) = P(H_{ij}(n_1, n_2)) = \\ L^i M_{ij} g(H_{ij}(n_1, n_2)/M_{ij}) \quad (4)$$

式中 $g(\cdot)$ 为:

$$g(x) = \frac{1}{[\text{sig}(c_2(1-b_2)) - \text{sig}(-c_2(1+b_2))]} \times \\ [\text{sig}(c_2(x-b_2)) - \text{sig}(-c_2(x+b_2))] \quad (5)$$

式中 M_{ij} 为尺度 i 和方向 j 上的小波或尺度系数中的最大模值,用于归一化要处理的各系数; $\text{sig}(x) =$

$\frac{1}{1+e^{-x}}$; b_2 为用来控制增强曲线的临界点的参数, $b_2 = \frac{1}{(N^i)^2} \sum_{n_1=1}^{N^i} \sum_{n_2=1}^{N^i} |H_{ij}(n_1, n_2)|$, 设置该参数的原因在于这样能保证 H_{ij} 中大部分系数间的对比度得到增强; c_2 为参数,用来控制非线性函数曲线的形状的参数,它对于对比度增强的效果至关重要,令:

$$c_2 \propto 1 \sqrt{\frac{1}{(N^i)^2} \sum_{n_1=1}^{N^i} \sum_{n_2=1}^{N^i} (y_j^i(n_1, n_2) - m_j^i)^2}$$

使得增强程度与 H_{ij} 的系数值相适应,其中 N^i 为 i 尺度子带的大小; L^i 是最为重要的参数,它的值与尺度相关,用来增强信号的能量。由于图像的噪声内容集中于低尺度的分解系数中,显然 L^i 应随尺度 i 减小而下降,以使噪声的增强幅度小于对信号内容的增强幅度,这样能极大地减轻算法对噪声内容的过增强。

综上所述,文中提及的算法可总结如下:

$$\hat{H}_{ij}(m, n) = \begin{cases} P(T(H_{ij}(m, n))) & \text{如果 } i \in L \\ P(H_{ij}(m, n)) & \text{如果 } i \in H \end{cases} \quad (6)$$

$$\hat{S}_j(m, n) = P(S_j(m, n))$$

式中 H, L ——高、低尺度。

3 实验与分析

以给出图像为例来说明算法的性能。图 1 是待处理的原图,是按照算法的应用背景的要求,用 CCD 设备在很差的光照条件下实拍的。图 4 是良好光照下摄取的同场景的图像,用于比较算法处理的效果,并且已将本算法的结果和多种增强算法进行比较,如直方图均衡化和自适应直方图均衡化^[2]等。由于直方图均衡化是最常用的方法,故将其结果列出,如图 3 所示。算法的结果如图 2 所示。

由于紧支、正交的 Haar 小波处理速度快,能满足算法应用背景的要求,所以在实验中使用了 Haar 小波基函数。观察图 1 可以发现待处理的图像对比度极低,比较图 1、图 2 可以发现本方法能够有效地增强原图的对比度。图 3 说明直方图方法也能有效地增强原图的对比度,但图 3 中有很明显的噪声过增强的现象,严重影响了处理质量。

图 5、图 6 进一步说明了这一点,两图中的实线分别是图 1 中某列的像素值,而虚线分别是直方图均衡化和本算法结果图中相应列的像素值。分别比较两图中的虚线和实线可以发现这两种方法都能够有效地增强原图的对比度。也就是说,虚线的起伏说明图中实线上所有的起伏都得到不同程度的放大。比较两图中的虚线可以很明显地看出本算法和直方图

均衡化的优劣,图 6 中有很多尖峰,对应于被过增强的噪声,而图 5 中的曲线则平滑得多。该现象的原因在于直方图方法在增强过程中,对图像中噪声和信号内容进行同样程度的增强,因而会使噪声过增强;由于小波分解后,高频的噪声内容主要集中在低尺度的子带上,而本算法对低尺度子带图像的增强程度小于高尺度,而且进行了阈值缩减去噪处理,因而增强结果表现得较为平滑。



图 1 原图
Fig. 1 The original image

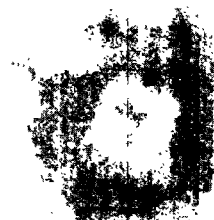


图 2 本算法的结果
Fig. 2 The result of this algorithm

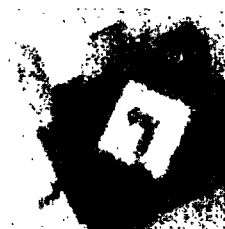


图 3 直方图均衡化的结果
Fig. 3 The result of histogram equalization



图 4 良好光照图
Fig. 4 The image taken in good illumination

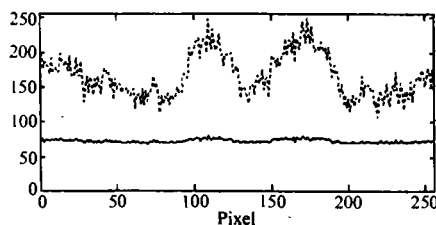


图 5 本算法的结果图
Fig. 5 The profile along a certain column of pixels in result of this algorithm

4 结论

提出了一个基于小波变换的对比度增强算法,充分利用小波变换多尺度分析的能力,在处理中,首先对低尺度的小波系数进行软阈值去噪,而后将

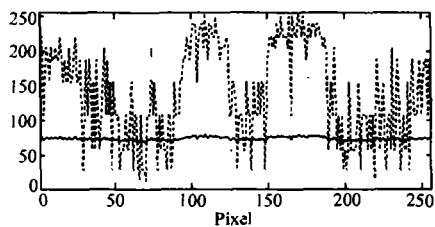


图 6 直方图均衡化的结果图

Fig. 6 The profile along a certain column of pixels in result of histogram equation

处理后的系数进行对比度增强,增强的程度根据尺度而不同,以避免因噪声过增强而造成差的图像质量,并且为了保证整体处理效果,算法也对分解的尺度系数进行增强处理。实验表明,利用此算法得到很好的增强效果。

(上接第 3 页)

不同的图像具有一定的自适应性,即直方图每一区域的拉伸幅度是自适应确定的,且此法侧重拉伸灰度分布高的区域。图 5 为直方图非线性拉伸后的图像及对应的直方图。

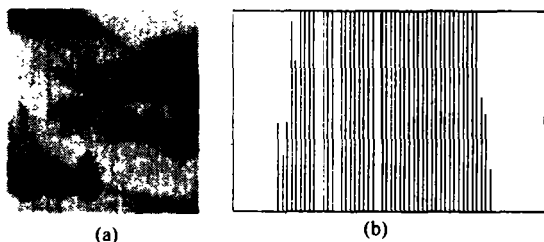


图 4 直方图线性拉伸增强后的红外图像及其直方图

Fig. 4 Image after linear extension enhancement and its histogram

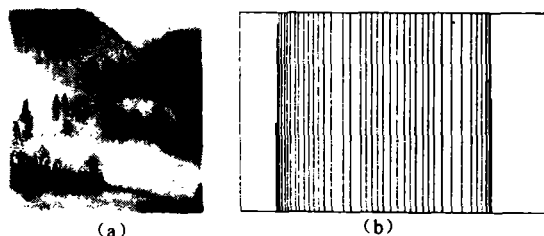


图 5 直方图非线性拉伸增强后的红外图像及其直方图

Fig. 5 Image after nonlinear extension enhancement and its histogram

参考文献:

[1] Li T L, Sundarehan M K. Adaptive image contrast enhancement based on human visual properties [J]. IEEE Trans Medical Imaging, 1994, 13(4): 573-586.

[2] Kim J Y, Kim L S. An advanced contrast enhancement using partially overlapped sub-block histogram equalization [J]. IEEE Trans Circuits and Video Technology, 2001, 11(4): 475-484.

[3] Chang D C, Wu W R. Image contrast enhancement based on a histogram transformation of local standard deviation [J]. IEEE Trans Medical Imaging, 1998, 17(4): 518-531.

[4] Donoho D L. De-noising by soft-thresholding [J]. IEEE Trans Information Theory, 1995, 41: 613-627.

[5] Laine A F, Schuler S. Mammographic feature enhancement by multiscale analysis [J]. IEEE Trans Medical Imaging, 1994, 13(4): 725-740.

[6] 许雷, 郑筱祥, 陈兴灿, 等. 一种基于小波相位滤波及视觉非线性的医学图像自适应增强新方法 [J]. 电子学报, 1999, 27(9): 121-123.

5 结 论

由图像的非均匀量化思想延伸了图像直方图非线性拉伸算法,并与线性拉伸算法进行了对比试验。试验证明,该算法具有自适应性和图像增强效果。另一方面,直方图非线性拉伸是以牺牲分布少的图像灰度来获得整体对比度的增强,在图像处理中主要用于图像的初步增强以获取整体效果,若分布低的灰度值恰好隐含着图像的细节信息,则必须在初步处理后辅以其他算法。

参考文献:

[1] 容观澳. 计算机图像处理 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2000. 49-51, 111-119, 212-215.

[2] 章毓晋. 图像工程(上册) [M]. 北京: 清华大学出版社, 1999. 28-31.

[3] Kenneth R Castleman. Digital image processing [M]. Prentice-Hall International Inc, 1998. 15-16, 75-80.

[4] 周新伦, 等. 数字图像处理 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1986. 106-110.