

基于多尺度小波的图像增强改进算法的应用研究

于 飞,张 跃,李 程

(青岛科技大学 自动化与电子工程学院,山东 青岛 266042)

摘 要: 现有的医学 CT 图像一般存在明暗对比度较差、灰度分布范围小、部分有用信息很不明显等缺陷,从而影响了图像的正确分析,因而进行图像增强是非常有必要的。一些传统算法在对图像增强的同时,也增强了图像中的噪声信号,不利于图像的后期处理。本文在现有的图像增强算法的基础上,采用了基于多尺度小波图像增强的新方法,有效地抑制了噪声,处理后的图像明暗较为明显,利于进一步的分析和处理。

关键词: CT 图像;图像增强;小波变换;多尺度小波

中图分类号: TP751

文献标识码: A

Application study on improved image enhancement algorithm based on multi-scale wavelet

YU Fei, ZHANG Yue, LI Cheng

(College of Automation and Electronic Engineering, Qingdao University of Science & Technology, Qingdao 266042, China)

Abstract: There are some deficiencies in medical CT images such as poor lighting contrast, small gray scale distributing range, inconspicuous useful information, and so on. These deficiencies affect the right analysis of the images, so, it is very necessary to do some work for image enhancement. Some of the existing traditional algorithms enhance the noise signals of the image while enhancing the image, it is not conducive to the follow-up step of processing the image. On the basis of the existing image enhancement algorithms, the new image enhancement method based on multi-scale wavelet was put forward on the paper, it can effectively resolve the problem of restraining noise, improve the contrast degree of the image, and make it easy to be analyzed and processed.

Key words: CT image; image enhancement; wavelet transform; multi-scale wavelet

图像增强是图像处理技术的一个重要内容,在医疗、工业等领域有着广泛的应用。增强技术的主要目的是处理一幅给定的图像,提升图像的视觉质量,使它的结果对于某种特定的应用比原始图像更适用。因此,好的算法应在增强图像时综合考虑图像本身特性和视觉特性,以得到更佳的效果,然而不少现有的算法并没有考虑这一点^[1-2]。现有的图像增强算法,虽然能有效地增强图像的对比度,但这类单一尺度处理的方法均不同程度地放大了图像中的噪声信号,限制了图像的有用信号,在信噪比很低的应用场合中会不可避免地带来噪声增强而严重降低处理质量^[3-4]。

基于多尺度小波变换的方法为解决这一问题提供了新的途径。在实际应用时,突出了图像中人们感兴趣

区域的信息,而减弱或去除不需要的信息,从而使有用信息得到加强,便于区分或解释。

1 小波与图像增强

由于噪声与信号在不同尺度下的小波变换系数的模的极大值不同,随着尺度的增加,噪声引起的小波模值迅速减小,这就意味着在较高分解层开始增强小波系数,不会引起噪声加强。利用这个特性,本文采用了基于小波变换的图像增强改进算法,可以通过在不同尺度下选择不同的拉伸因子,从而改变不同尺度下的小波系数的模值,较好地解决了噪声去除和高对比度之间的矛盾。

小波变换用于图像处理的难点之一是小波基的选择,因此,如何最优地选择小波基是小波研究中的关键

问题。在图像增强处理中,小波函数的选取直接关系到增强的效果。由于在尺度给定时,小波变换相当于对图像进行带通滤波,某种程度上减少了噪声对图像的影响,但同时也丢失了一些细节信息。而B样条函数是L2空间的多尺度生成元,其小波函数具有良好的去噪特性和多尺度性,同时又不破坏细节信号^[5]。因此本文选取B样条小波函数进行图像增强,可以在提高图像灰度变化的同时,有效地抑制噪声信号。

传统的图像增强处理主要分空间域法和频域法2种,小波变换是频域变换中的一种,虽然它在图像增强的应用中仅充当一个频域变换的作用,但由于小波变换具有时-频局部化和多尺度分析的特性,可以较好地提高图像增强的效果。小波变换的主要优点是多尺度性,此特性在图像处理中有着极为重要的作用。基于这一特性,小波变换可视为在不同尺度下的带通滤波器,且其具有相对带宽恒定的特点,有利于由粗及细地逐步观察图像。实际上,小波变换可通过与2个互为正交的高、低通滤波器的递归循环卷积得到,其本质最终体现在滤波器对信号的滤波上。小波二维空间域的离散形式如下:

$$\begin{cases} s_2^j f(x,y) = \sum_{k_1} \sum_{k_2} h_{k_1} h_{k_2} s_2^{j-1} f(x-2^{j-1}k_1, y-2^{j-1}k_2) \\ w_2^1 f(x,y) = \sum_{k_1} \sum_{k_2} h_{k_1} g_{k_2} s_2^{j-1} f(x-2^{j-1}k_1, y-2^{j-1}k_2) \\ w_2^2 f(x,y) = \sum_{k_1} \sum_{k_2} g_{k_1} h_{k_2} s_2^{j-1} f(x-2^{j-1}k_1, y-2^{j-1}k_2) \end{cases} \quad (1)$$

式中, $f(x,y)$ 为原始的二维信号; $S_2^j f(x,y)$ 为在分辨率 j 下的离散概貌; $w_2^1 f(x,y)$ 和 $w_2^2 f(x,y)$ 分别为 $f(x,y)$ 在分辨率 j 下沿垂直和水平方向下的高散细节; $\{g_k, k \in Z\}$ 和 $\{h_k, k \in Z\}$ 分别为高、低通滤波器的脉冲响应。

传统的小波图像增强,首先对原图像 $f(x,y)$ 进行从 $0 \sim J$ 的小波变换,得到各尺度的 $w_2^1 f(x,y)$ 和 $w_2^2 f(x,y)$, $0 < j \leq J$,然后设定阈值,对大于该阈值的小波变换系数加权弱化,对小于阈值的小波变换系数加权增强,以达到图像增强的目的。其基本思想是:通过对不同尺度下的小波变换系数 $w_2^1 f(x,y)$ 和 $w_2^2 f(x,y)$ 进行线性或非线性拉伸,扩大其在尺度空间的动态范围,最后进行小波逆变换,达到增强对比度的作用。但这种方法在增强对比度的同时不可避免地扩大了噪声信号,影响了图像质量。

2 基于多尺度小波的图像增强改进算法

基于图像灰度直方图的增强处理,改变了像素灰度的全局统计分布,传统的小波增强效果要好于直方图的增强方法,但是不能很好地抑制噪声,使得图像的质量造成不同程度的下降。因此,本文利用小波系数,通过修

改图像在不同尺度下的梯度信息,从而达到提高图像对比度的目的。

由于图像的对比度正比于图像灰度强度的相对变化,故而在灰度图像的局部区域内,对比度与灰度梯度的模值有关,即低对比度相应的灰度梯度模值较小;反之,高对比度相应的灰度梯度模值较大^[6-8]。由此,可以通过有效处理图像灰度梯度来达到增强图像的目的。理论上,由噪声引起的梯度向量的模值随着尺度的增加而迅速减小,即大尺度下的噪声,其梯度向量的模值很小;而在小尺度下的噪声,其梯度向量的模值较大。根据噪声在不同尺度下表现出的这一特性,可以在不同尺度下来选择不同的拉伸系数,改变不同尺度下的梯度向量的模值,不但能达到拉伸图像显示范围的目的,而且还能有效地抑制噪声信号,较好地解决了噪声和高对比度之间的矛盾。最后进行小波逆变换,便可以得到较为理想的对比度增强图像。选取某一平滑函数的导数为母小波函数,对图像进行小波变换,可得到图像的多尺度梯度。通过对其多尺度梯度进行有效处理,直接扩大其在尺度空间内的动态范围,然后进行小波逆变换,即可实现对图像的增强处理。其具体流程如图1所示。

根据图1具体的增强步骤如下:

(1)先将原图像 $f(x,y)$ 按式(1)进行多尺度小波分解,得到该图像在不同尺度下的小波系数,其中沿 x,y 方向的小波系数,正比于被平滑函数 $\theta_j(x,y)$ 平滑后的函数 $f * \theta_j(x,y)$ 沿 x,y 方向的梯度。通过式(2)可得梯度矢量模 $M_2 f(x,y)$ 和 $A_2 f(x,y)$ 幅角:

$$\begin{cases} M_2 f(x,y) = \sqrt{|w_2^1 f(x,y)|^2 + |w_2^2 f(x,y)|^2} \\ A_2 f(x,y) = \arctan\left[\frac{w_2^2 f(x,y)}{w_2^1 f(x,y)}\right] + \begin{cases} 0, w_2^2 f(x,y) > 0, w_2^1 f(x,y) \geq 0 \\ \pi, w_2^1 f(x,y) < 0 \\ 2\pi, w_2^1 f(x,y) > 0, w_2^2 f(x,y) < 0 \end{cases} \end{cases} \quad (2)$$

式中, $A_2 f(x,y)$ 表示最大灰度变化的方向, $M_2 f(x,y)$ 表示最大灰度变化的强度。

(2)在不同尺度下对梯度模值按式(3)进行相应的拉

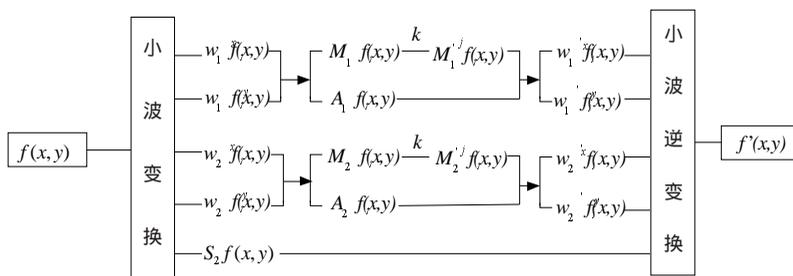


图1 多尺度小波增强流程图

伸变换:

$$M'_2 f(x, y) = k_j \times M_2 f(x, y) \quad (3)$$

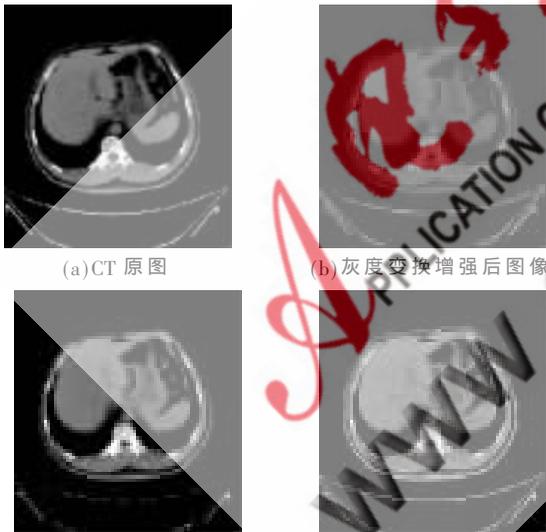
式中, k_j 为拉伸系数, 其值为常数(在不同尺度下 k_j 值一般不同), 并满足 $0 \leq k_j \leq 1/\max\{M_2 f(x, y)\}$ 。

通过在不同尺度下选取适当 k_j , 可以增强图像在相应尺度下的细节特征。本研究依据噪声在不同尺度下的特性, 采用在大尺度时选择较大的拉伸系数, 噪声变化很小, 因此尺度 2^j 大时, k_j 可选择较大值, 此时噪声的增强相对于其他信号的增强可以忽略, 不会影响图像的质量。而小尺度时选择较小的拉伸系数, 或者拉伸系数为 1, 以达到抑制噪声的目的。但尺度 2^j 小时, k_j 不能选择太大, 否则会放大噪声信号。实验证明, 通过选取适当 k_j 值, 可以达到增强图像目的, 同时又有效地控制了噪声。

(3) 根据处理后得到的 $M'_2 f(x, y)$ 、 $A'_2 f(x, y)$ 来处理小波变换系数, 得到变换后的小波系数 $w_2^1 f(x, y)$ 和 $w_2^2 f(x, y)$, 再进行小波逆变换, 即可得到增强后的图像 $f'(x, y)$ 。

3 增强实验与分析

在这里将得到的去噪后的图像进行增强处理, 采用基于多尺度小波的图像增强改进算法, 并对灰度变换和直方图修改法增强后的效果进行比较, 结果如图 2 所示。



(a) CT 原图 (b) 灰度变换增强后图像
(c) 直方图修改法增强后图像 (d) 本文改进算法增强后图像
图 2 增强前后图像比较

从图 2 可以看出, 灰度变换算法可以达到一定的对比度增强效果, 但不能很好地消除图像中的噪声, 因此在增强图像的过程中, 不可避免地加强了噪声对图像的影响, 使得图像质量下降, 其增强后的图像如图 2(b) 所示。

直方图修改法能自动增强整个图像(或某个区域的

对比度, 但是它的增强效果不容易控制, 处理结果总是得到全局均衡化的直方图, 变换后图像的灰度级减少, 某些细节消失; 原来灰度不同的像素经处理后可能变得相同, 形成一片相同灰度的区域, 突出显示噪声等细节信号, 减弱部分有用信息, 实验结果如图 2(c) 所示。

基于多尺度小波的图像增强改进算法是针对去噪后的图像增强后的图像, 克服了传统的模糊增强算法的不足(灰度低的地方细节丢失严重), 基本上保留了图像的所有细节, 且图像的细节得到增强, 并且改进算法带来的噪声过增强很不明显, 小波分解后, 高频的噪声内容主要集中在低尺度的子带图像上, 而本算法对低尺度子带图像的增强程度小于高尺度, 因而增强结果表现得较为平滑, 同时对对比度也比较明显。说明本文的图像增强方法是行之有效的。实验结果如图 2(d) 所示。

本文通过灰度变换算法和直方图修改法的实验结果说明了其中的缺陷, 从而可知这些算法对图像进行增强的同时, 均不同程度地放大了图像中的噪声信号, 限制了图像的有用信号。本文针对现有的图像增强技术的缺陷, 采用了基于多尺度小波图像增强的新方法, 充分利用小波变换多尺度分析的能力, 对图像小波分解后不同尺度上的系数进行不同程度的增强, 具有独特的优点, 避免了因噪声过增强而造成图像质量差, 从而有效地抑制了噪声, 处理后的图像明暗较为明显。实验表明, 这种算法能得到很好的增强效果, 验证了其有效性。

参考文献

- [1] CASTLEMAN K R. 数字图像处理[M]. 朱志刚, 林学闾, 石定机译. 北京: 电子工业出版社, 2002.
- [2] 章毓晋. 图像处理和分折[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.
- [3] 章鲁, 顾顺德, 陈瑛. 医学图像处理[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2002.
- [4] 冈萨雷斯, 温茨. 数字图像处理[M]. 李叔梁, 等译. 北京: 科学出版社, 1981.
- [5] 张晔, 任广辉, 孙翠莲. B 样条小波基的构造与实现算法[J]. 哈尔滨工业大学学报, 1996, 28(6): 27-31.
- [6] 张德干. 小波变换在数字图像处理中的应用研究[J]. 沈阳: 东北大学, 2000.
- [7] LEU J G. Image contrast enhancement based on the intensities of edge pixels[J]. CVGIP Graphical Models and Image Processing, 1992, 54(6): 162-174.
- [8] BEGHDAI A, NEGRATE A L. Contrast enhancement technique based on local detection of edges [J]. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 1993, 35: 447-463.

(收稿日期: 2009-05-12)