

一种小波域的图像增强算法

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2017.01.004

汪祖辉 孙刘杰
邵 雪

上海理工大学
出版印刷与艺术设计学院
上海 200093

摘 要:微弱图像具有对比度低、噪声高、质量差等特点,一定程度上影响了图像的观察和使用。因此,提出一种小波域的图像增强算法,通过对微弱图像多尺度、多分辨率的小波变换分离各维度小波系数,对低频小波系数进行直方图均衡化,高频小波系数进行 Canny 算法提取边缘,最后将处理后的各维度小波系数进行图像重构以实现图像增强。并选取了 3 幅微弱图像,将其经所提出的算法及几种传统经典图像增强算法增强后的图像进行实验仿真对比。仿真结果表明,在主观评价上,所提算法增强后的图像的细节更加丰富,视觉感受更加平滑自然;客观评价指标中信息熵的值也都是最大的,分别是 4.989 3, 3.741 5, 4.796 1, 信息丰富度最高;而峰值信噪比和图像质量测量函数的数据表明所提算法增强图像的程度适中,整体性较好。可见,所提出的针对微弱图像的增强算法能够在视觉效果上和图像信息上进行有效的图像增强。

关键词:微弱图像;小波变换;直方图均衡化;Canny 算子;图像增强

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A

文章编号: 1674-7100(2017)01-0021-07

0 引言

由于受到设备、环境等的影响,微弱图像具有对比度低、噪声高、质量差等特点,甚至某些局部细节没有明显的灰度差别^[1-2],在一定程度上影响了图像的观察和使用。因此,如何在有效地抑制噪声的前提下实现对图像的增强,一直是微弱图像处理领域的研究重点^[3]。

图像增强的方法主要分为频域法和空域法两大类。其中,频率法包括低通滤波、高通滤波、同态滤波等;空域法主要包括直方图均衡化、灰度拉伸、中值滤波、非线性变换等。而直方图均衡化又包括局部直方图均衡化^[4]和全局直方图均衡化。局部直方

图均衡化仅考虑局部区间内的灰度分布,没有考虑图像的整体特点,易减弱图像的层次;而全局直方图均衡化由于是考虑全局变化,导致效果可控性和目标性均较差^[5]。近年来,图像增强方面的研究热点为对图像边缘的增强,如文献[6]利用多尺度小波变换算法提取出图像高频细节信息进行细节增强,以实现图像的整体增强。但是由于高频细节系数的改变会引入噪声,会导致在整体细节得到增强的同时,部分细节却变得模糊。

因此,基于以上图像增强算法的优势和局限性,以及微弱图像的特性,本文拟通过对微弱图像多尺度、多分辨率的小波变换提取图像各个维度上的小波系数^[7]。在图像小波变换的低频系数上,采取直方

收稿日期:2016-03-11

基金项目:上海理工大学科技发展基金资助项目(16KJFZ017),上海市教委科研创新基金资助重点项目(13ZZ111)

作者简介:汪祖辉(1991-),男,安徽黄山人,上海理工大学硕士生,主要研究方向为图像处理和数字水印,

E-mail: wangzuhuix@126.com

通信作者:孙刘杰(1965-),男,安徽怀宁人,上海理工大学教授,主要从事图像处理,数字印刷和数字水印方面的研究,

E-mail: liujiesunx@126.com

图均衡化,以增强低频信息对比度;对水平、垂直、对角方向上的高频系数,采用 Canny 算子进行边缘提取;最后,将处理后的各个维度上的小波系数进行图像重构,以实现图像增强。并通过仿真实验验证所提方法的有效性,以期微弱图像增强处理提供一定的理论参考。

1 直方图均衡化

灰度直方图就是图像中对应特定的某个灰度级像素的数量值^[8]。直方图均衡化^[9]就是将原图像的直方图通过一定的变换函数修正为分布均匀的直方图,从而改变原图像的对比度,实现图像增强。

具体的直方图均衡化步骤如下:

考虑连续灰度值,并用变量 r 表示待处理图像的灰度,假设 r 的取值区间为 $[0, L-1]$,且 $r=0$ 表示黑色。 L 为最大灰度值 256,因此 $r=L-1$ 表示白色;用变量 s 表示输出的灰度值,变换函数用 $T(r)$ 表示,则有

$$s=T(r), 0 \leq r \leq L-1. \quad (1)$$

令 $T(r)$ 满足如下条件:

- 1) $T(r)$ 在区间 $0 \leq r \leq L-1$ 上为单调增函数;
- 2) 当 $0 \leq r \leq L-1$ 时, $0 \leq T(r) \leq L-1$ 。

条件 1) 保证了图像灰度级的灰白不变性^[10],条件 2) 保证了输出灰度值的范围和输入的灰度值范围相同。由 s 到 r 的反函数可以表示为

$$r=T^{-1}(s), 0 \leq s \leq L-1. \quad (2)$$

一幅图像的灰度级可以被看成是区间 $[0, L-1]$ 内的随机变量,而概率密度函数(probability density function, PDF)是该随机变量的描绘子。令 $p_r(r)$ 和 $p_s(s)$ 分别表示随机变量 r 和 s 的概率密度函数,由基本概率论可知,变量 s 的 PDF 即 $p_s(s)$ 可以表示为

$$p_s(s) = p_r(r) \left| \frac{dr}{ds} \right|. \quad (3)$$

随机变量 r 的累积分布函数(cumulative distribution function, CDF)满足

$$s = T(r) = (L-1) \int_0^r p_r(w) dw. \quad (4)$$

式(4)中 w 为积分的假变量。

由积分学中的莱布尼茨准则可知,

$$\frac{ds}{dr} = \frac{dT(r)}{dr} = L-1 \frac{d}{dr} \left[\int_0^r p_r(w) dw \right] = (L-1) p_r(r). \quad (5)$$

联立式(3)和(5)可得,

$$p_s(s) = p_r(r) \left| \frac{dr}{ds} \right| = p_r(r) \left| \frac{1}{(L-1)p_r(r)} \right| = \frac{1}{L-1}. \quad (6)$$

由此可知, $p_s(s) = \frac{1}{L-1}$ 是始终均匀的,与 $p_r(r)$ 的形式无关。

2 小波理论分析

小波分析的基本思想是用一组小波或者基函数的线性组合表示一个图像信号,并通过对小波基函数的伸缩和平移实现对图像信号的多尺度分解^[11]。假设 $\{V_j\}$ 是一张量积空间,构成 $L^2(r)$ 上的一个多尺度分析, $\varphi(x)$ 和 $\phi(x)$ 分别是相应的尺度函数和小波函数,图像 $f(x, y)$ 的 Mallet 小波快速分解为:

$$f(x, y) = \sum A_{j,k,m} \varphi(x, y) + \sum_{c=h,v,d} \sum_{k,m} D_{j,k,m}^c \phi(x, y), \quad (7)$$

$$A_{j,k,m} = \sum_{l,n} h_{l-2k} g_{n-2m} C_{j+1,l,m}, \quad (8)$$

$$D_{j,k,m}^h = \sum_{l,n} h_{l-2k} g_{n-2m} C_{j+1,l,n}, \quad (9)$$

$$D_{j,k,m}^v = \sum_{l,n} h_{l-2k} g_{n-2m} C_{j+1,l,n}, \quad (10)$$

$$D_{j,k,m}^d = \sum_{l,n} h_{l-2k} g_{n-2m} C_{j+1,l,n}. \quad (11)$$

式(7)~(11)中, $A_{j,k,m}$ 表示图像的低频系数,低频系数保持了原始图像内容信息;

$C_{j+1,l,m}$ 为小波级数展开系数,尺度 j 的细节系数是 $j+1$ 的近似系数函数;

$D_{j,k,m}^h, D_{j,k,m}^v, D_{j,k,m}^d$ 分别表示图像在水平、垂直、对角方向上的高频系数,视觉上表示图像不同纬度上的细节、边缘以及噪声信息;

h_{l-2k} 和 g_{n-2m} 分别表示低通滤波和高通滤波系数,其中 l 和 n 表示变换参数, k 和 m 表示平移参数,采样频率为 2。

以小波变换对图像进行处理的基本步骤如下:

1) 通过对图像的多尺度、多分辨率的小波变换,可以提取图像各个维度上的小波系数;

2) 根据不同目的,对各维度上的小波系数进行不同的处理;

3) 对处理后的小波系数进行图像重构,完成图像处理。

小波变换在图像增强上的应用,通常是通过对低频小波系数进行增强、对高频小波系数进行衰减来实现的。但是有文献指出,由于高频小波系数实际上包

含了图像的很多细节信息和轮廓信息, 因而对于高频小波系数进行衰减的操作, 是以牺牲部分图片细节和轮廓作为代价来实现图像增强的^[12]。微弱图像具有对比度较低、噪声较高、质量较差等特点, 甚至某些局部细节没有明显的灰度差别, 这就使得在针对微弱图像进行小波变换时, 高频小波系数的处理不能使用衰减的方法。

3 改善的图像增强算法

直方图均衡化在增强图像对比度、实现图像增强的同时, 会造成图像信息丢失, 而常规的小波变换图像增强又会在高频小波系数衰减过程中丢失图像细节。因此, 本研究基于这两种方法的优势和劣势, 以及 Canny 算子在边缘提取上具有效果好、受噪声影响较小、对噪声具有平滑作用、且在处理高斯白噪声污染的图像方面优于其他传统边缘检测算子等特点^[13], 提出一种改善的图像增强算法。具体算法如下:

- 1) 将原始图像通过小波变换, 提取出图像的低频小波系数、水平高频小波系数、垂直高频小波系数、对角高频小波系数;
- 2) 对得到的低频小波系数进行直方图均衡化;
- 3) 对图像的水平、垂直、对角高频小波系数, 用 Canny 算子进行边缘提取;
- 4) 将处理后的各小波系数进行图像重构, 得到增强后的图像。

改进的图像增强算法流程如图 1 所示。

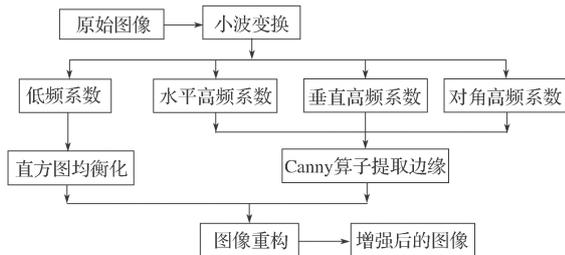


图 1 改进的图像增强算法流程图

Fig.1 Flow chart of improved image enhancement algorithm

4 实验仿真

本文利用 Matlab R2009a 编程工具进行实验仿真。实验选取了胸透 X 图像、脑部 CT 图像和全身 X 图像 3 幅微弱图像作为实验对象, 然后利用本文算法进行图像增强, 并采用直方图均衡化、同态滤波^[14]、

非线性变换、中值滤波等经典增强算法进行仿真, 以便与本文算法得到的结果进行比较, 验证所提算法的有效性。

4.1 主观评价

图 2 所示是一幅胸透 X 图像及其采用各增强算法增强后的效果图。

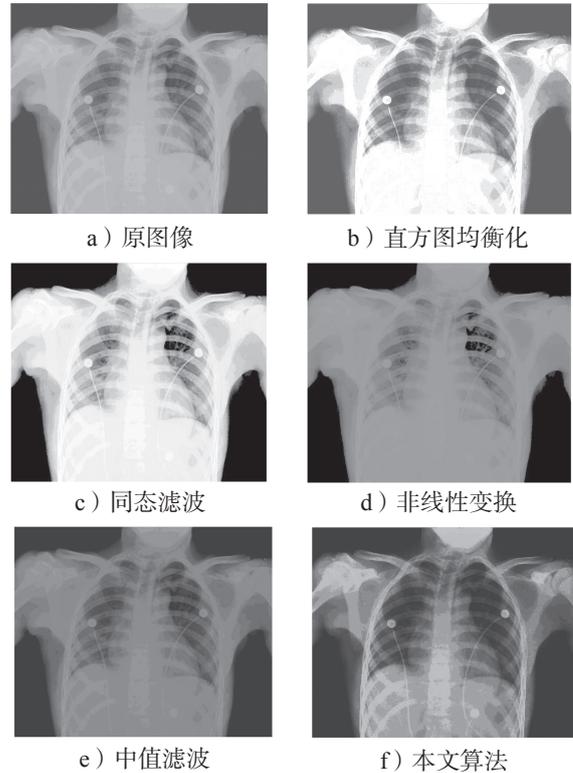


图 2 胸透 X 微弱图像及其增强效果对比图

Fig.2 The enhancement effect of chest X image

由于成像设备和环境噪声的影响, 图 2a 所示胸透 X 图像原图像偏暗、模糊, 对比度较低, 噪声较大。在图 2b~d 所示各增强效果图中, 各图像都显示出整体亮度得到了提升; 相对而言, 采用直方图均衡化增强算法处理后的仿真图像的整体效果不错, 但是其灰度过渡不自然; 而采用同态滤波和非线性变换增强算法处理后的图像丢失了较多的细节。图 2e 采用中值滤波增强方法, 所得到的仿真图像与原始图像比较, 没有明显的图像增强效果。图 2f 采用本文所提出的增强方法, 得到的仿真图像平滑自然, 视觉感受较佳, 并且细节上较原图像也有较好的增强。

由以上分析可见, 本文所提算法是一种较为优秀的图像增强算法。

图 3 所示是一幅脑部 CT 微弱图像及其采用各增强算法增强后的效果图。

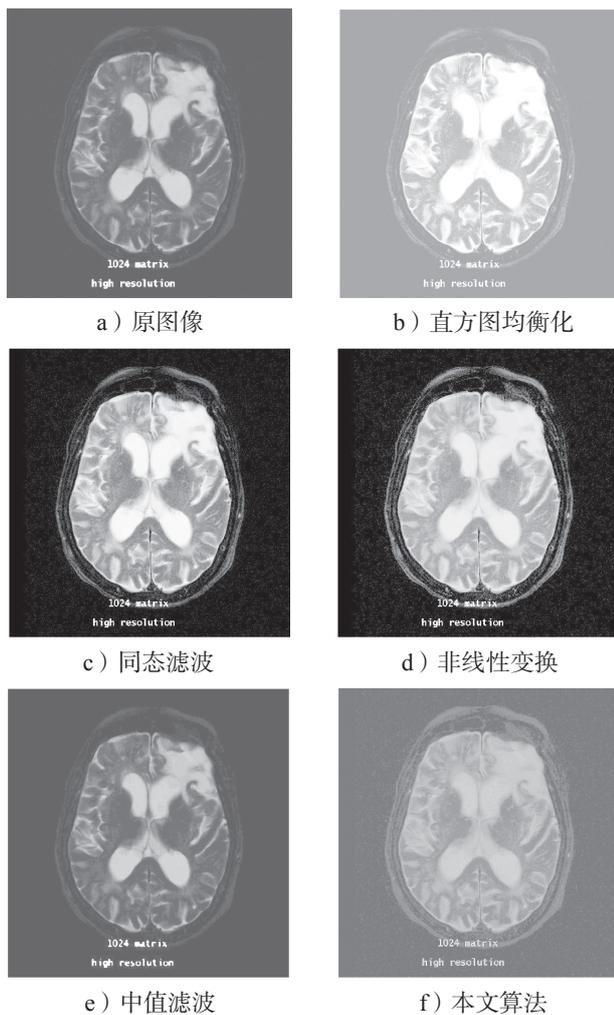


图3 脑部CT微弱图像及其增强效果对比图
Fig.3 The enhancement effect of brain CT image

观察图3a所示脑部CT原微弱图像,可知其具有对比度低、噪声大、图像模糊的特征。在图3b~d所示各增强效果图中,以各方法处理后的图像增强效果都不错,但是仔细观察可以发现:以直方图均衡化处理后的图像的整体亮度得到了增强,但是图像细节并没有得到很好的提升;以同态滤波和非线性变换处理后的图像轮廓和细节都得到了较好的增强,但是放大了噪声,使得图像出现了较多的噪点,而这些噪点会影响医生的临床判断。图3e所示以中值滤波处理的图像与原图像相比,没有明显的变化。图3f所示以本文所提算法处理后的图像,不仅提高了图像的细节,且整体视觉效果较好,平滑自然。

以上分析结果再次验证了本文所提算法是一种较为优秀的图像增强算法。

图4所示是一幅全身X微弱图像及其采用各增

强算法增强后的效果图。

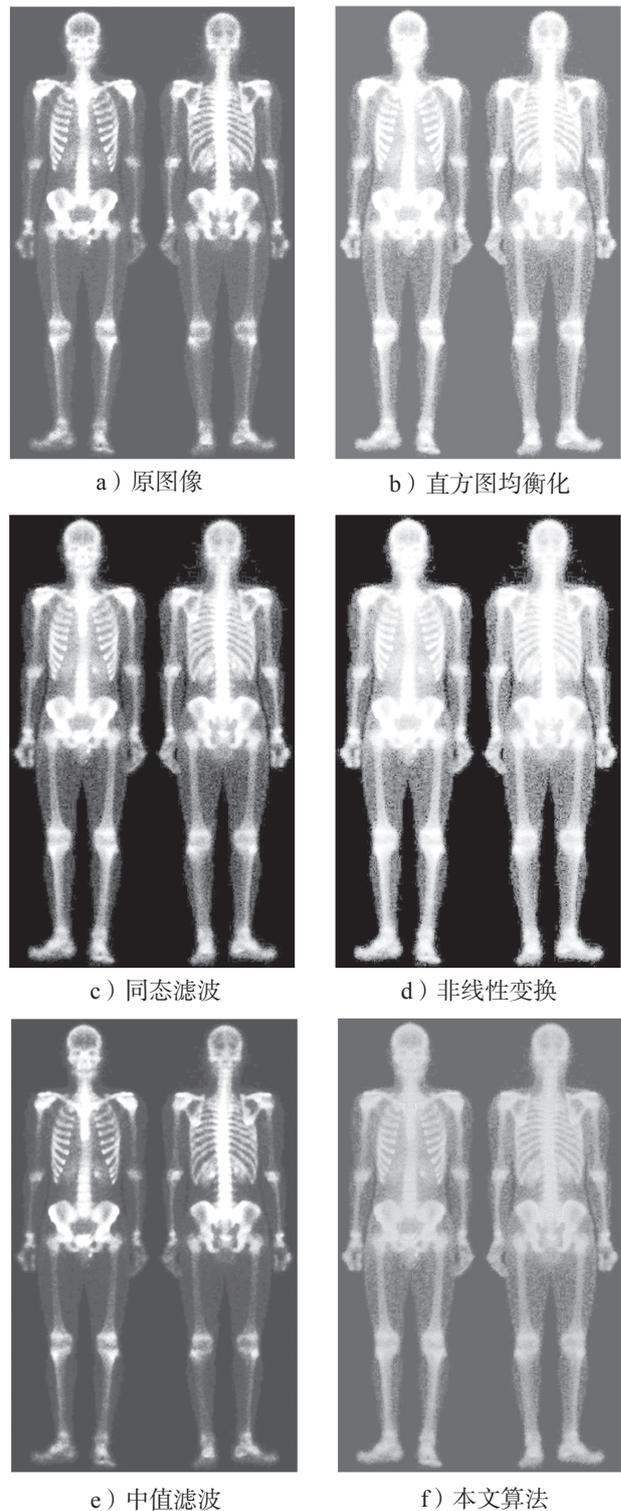


图4 全身X微弱图像及其增强效果对比图
Fig.4 The enhancement effect of whole body X image

图4a所示全身X微弱图像的原图像整体偏暗,部分细节模糊。图4b所示以直方图均衡化处理后的

图像, 其亮度得到了提高, 但是灰度跳跃严重, 部分细节因为亮度太高而丢失。图 4c 所示以同态滤波处理后的图像, 其效果较好, 但仔细观察能够发现头部附近有较多噪点。图 4d 所示以非线性变换处理后的图像, 其因为噪声放大, 使得图像整体效果较差。图 4e 所示以中值滤波处理后的图像, 其与原图像相比, 变化不大。图 4f 所示为采用本文算法处理后的图像, 其清晰度上还有些许欠佳, 但整体视觉效果较好, 细节表现也不错。

以上分析结果又一次验证了本文所提算法是一种较为优秀的图像增强算法。

4.2 客观评价

本研究采用的图像客观评价指标^[15]为图像信息熵^[16]、峰值信噪比和文献 [17] 中图像质量测量函数。信息熵是衡量图像信息丰富度的一个关键指标, 其值越大, 表示图像所含信息量越大。峰值信噪比 (peak signal to noise ratio, PSNR) 和图像质量测量函数 (calculate entropy, CE) 都是图像客观质量评价的方法, 具体计算公式如下:

$$PSNR = 10 \lg \left[\frac{(2^n - 1)^2}{\frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (I(i, j) - K(i, j))^2} \right], \quad (12)$$

式 (12) 中: n 表示图像位深度, 本实验图像位深度都为 8;

M 和 N 分别表示用于比较的两幅图像的分辨率;

$I(i, j)$ 和 $K(i, j)$ 表示用于比较的两幅图像各像素点的像素值。

$$CE = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N f^2(i, j) - \left[\frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N f(i, j) \right]^2. \quad (13)$$

式 (13) 中 $f(i, j)$ 表示待评价图像各像素点的像素值。

所选用的 3 幅微弱图像经不同方法增强后的各客观评价实验数据见表 1~3。

表 1 图像增强信息熵客观评价结果

Table 1 The objective evaluation of image enhancement

图像名称	直方图 均衡化	同态 滤波	非线性 变换	中值 滤波	本文 算法
胸透 X 图像	3.685 6	3.429 5	3.750 9	3.661 7	4.989 3
脑部 CT 图	2.448 6	2.665 4	2.483 7	2.396 8	3.741 5
全身 X 图像	3.931 1	3.095 8	4.504 9	4.625 0	4.796 1

分析表 1 中的数据可知, 3 幅微弱图像应用本文算法的信息熵值均大于其他算法的, 这一结果客观上

表明本文算法得到的增强图像丰富度最高, 实现了图像增强效果。

表 2 图像增强后的峰值信噪比评价结果

Table 2 The PSNR evaluation

图像名称	直方图 均衡化	同态 滤波	非线性 变换	中值 滤波	本文 算法
胸透 X 图像	7.060 3	16.876 6	5.716 1	46.540 9	17.211 9
脑部 CT 图	3.858 5	20.593 4	20.968 7	35.370 9	22.943 5
全身 X 图像	5.483 0	17.560 4	19.828 7	43.577 8	20.771 4

分析表 2 中的数据可知, 本文算法在 3 幅图像上应用后得到的峰值信噪比数值大于除中值滤波算法外的其他算法。从峰值信噪比的公式易知, 当增强前后图像差别不大时, 数值偏高, 表明增强效果不明显; 而增强前后图像差别过大时, 图像信息发生丢失, 数值偏低, 增强效果也不明显。本文算法对比增强前后两图像的峰值信噪比平均值在 20 左右, 表明增强效果强度适中, 没有出现极端现象, 这与主观评价结果相一致。

表 3 增强后图像质量测量函数评价结果

Table 3 The CE evaluation

图像名称	直方图 均衡化	同态 滤波	非线性 变换	中值 滤波	本文 算法
胸透 X 图像	4 436.3	5 673.6	2 174.9	376.9	2 478.7
脑部 CT 图	1 071.3	933.7	867.1	281.9	1 007.3
全身 X 图像	2 525.7	1 221.0	1 071.1	844.1	1 489.2

分析表 3 中的数据可知, 对于胸透 X 图像, 运用本文算法得到的增强后图像的图像质量测量函数值为 2 478.7, 该数值高于非线性变换算法和中值滤波算法的, 但小于直方图均衡化算法和同态滤波算法的; 这是由于该评价指标与图像的整体亮度正相关, 直方图均衡化和同态滤波增强后图像整体亮度都较本文算法高, 但亮度过大会影响图像的细节和层次, 这个在主观评价上可得到验证。对于脑部 CT 图和全身 X 图像, 本文算法均小于直方图均衡化算法, 这表明本文算法在亮度上不及直方图均衡化算法, 但细节和层次以及亮度过渡上优于直方图均衡化算法的。

5 结论

微弱图像因其对比度低、噪声高、质量差等特点, 在一定程度上影响了图像的观察和使用。为此提出一种小波域的图像增强算法, 即通过对微弱图像多尺度、多分辨率的小波变换分离各维度小波系数, 对低

频小波系数进行直方图均衡化, 高频小波系数进行 Canny 算法提取边缘, 最后将处理后的各维度小波系数进行图像重构实现图像增强。并选取了胸透 X 图像、脑部 CT 图像和全身 X 图像 3 幅微弱图像为实验对象, 利用本文算法进行图像增强, 同时采用直方图均衡化、同态滤波、非线性变换、中值滤波等经典增强算法进行仿真实验, 将所得结果与本文算法结果进行比较, 得到如下结论:

1) 在主观评价上, 本文给出的算法增强后的图像细节更加丰富, 视觉感受更加平滑自然;

2) 客观评价指标中, 本文给出的算法增强后的图像信息熵的值也都是最大的, 分别是 4.9893, 3.7415, 4.7961, 信息丰富度最高; 而峰值信噪比和图像质量测量函数的数据表明, 所提算法增强图像的整体性较好。

可见, 本文针对微弱图像的增强算法能够在视觉效果上和图像信息上进行有效的图像增强, 是一种较为优秀的图像增强算法。

参考文献:

- [1] 王修信, 胡维平, 李永军. 一种多小波滤波器在医学图像融合中的应用 [J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(15): 198-200, 214.
WANG Xiuxin, HU Weiping, LI Yongjun. Application of Multiwavelet Filter in Medical Image Fusion[J]. Computer Engineering and Applications, 2007, 43(15): 198-200, 214.
- [2] 梁灵飞, 平子良. 基于窗口经验模式分解的医学图像增强 [J]. 光电子·激光, 2010, 21(9): 1421-1425.
LIANG Lingfei, PING Ziliang. Medical Image Enhancement Based on Window Empirical Mode Decomposition Algorithm[J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2010, 21(9): 1421-1425.
- [3] 王蕾, 陆玲, 李祥, 等. 基于小波分层的多方向医学 CT 图像增强算法 [J]. 计算机工程与设计, 2008, 29(14): 3693-3695.
WANG Lei, LU Ling, LI Xiang, et al. Enhancement Method of Multidirectional Medical CT Image Based on Wavelet Laid[J]. Computer Engineering and Design, 2008, 29(14): 3693-3695.
- [4] 郭颖平, 杨进生, 陈宗良, 等. 一种基于修正直方图的图像增强算法 [J]. 光学与光电技术, 2014, 12(6): 17-20.
GUO Yingping, YANG Jinsheng, CHEN Zongliang, et al. Image Enhancing Algorithm Based on the Generalized Histogram[J]. Optics & Optoelectronic Technology, 2014, 12(6): 17-20.
- [5] 李庆忠, 刘清. 基于小波变换的低照度图像自适应增强算法 [J]. 中国激光, 2015, 42(2): 280-286.
LI Qingzhong, LIU Qing. Adaptive Enhancement Algorithm for Low Illumination Images Based on Wavelet Transform[J]. Chinese Journal of Lasers, 2015, 42(2): 280-286.
- [6] VELDE K V. Multi-Scale Color Image Enhancement[C]// International Conference on Image Processing. Los Alamitos: IEEE Computer Society, 1999: 584-587.
- [7] 尹士畅, 喻松林. 基于小波变换和直方图均衡的红外图像增强 [J]. 激光与红外, 2013, 43(2): 225-228.
YIN Shichang, YU Songlin. Infrared Image Enhancement Algorithm Based on Wavelet Transform and Histogram Equalization[J]. Laser & Infrared, 2013, 43(2): 225-228.
- [8] 姜柏军, 钟明霞. 改进的直方图均衡化算法在图像增强中的应用 [J]. 激光与红外, 2014, 44(6): 702-706.
JIANG Bojun, ZHONG Mingxia. Improved Histogram Equalization Algorithm in the Image Enhancement[J]. Laser & Infrared, 2014, 44(6): 702-706.
- [9] GONZALEZ R C, WOODS R E. Digital Image Processing[M]. 3rd ed. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2012: 72-77.
- [10] 秦杨, 孙刘杰, 王文举. 一种微弱图像增强技术研究 [J]. 包装工程, 2013, 34(7): 77-80.
QIN Yang, SUN-LIU Jie, WANG Wenju. Research of Faint Image Enhancement Technology[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(7): 77-80.
- [11] WU C, ZHU W P, SWAMY M N S. A Watermark Embedding Scheme in Wavelet Transform Domain[C]// IEEE Region 10 Conference. Quebec: Concordia University, 2004: 279-282.
- [12] LUO Jiebo, CHEN Changwen, PARKER K J. Image Enhancement for Low Bit Rate Wavelet-Based Compression[J]. IEEE International Symposium on Circuits and Systems, 1997, 2(6): 1081-1084.
- [13] 王小俊, 刘旭敏, 关永. 基于改进 Canny 算子的图像边缘检测算法 [J]. 计算机工程, 2012, 38(14): 196-198, 202.
WANG Xiaojun, LIU Xumin, GUAN Yong. Image Edge Detection Algorithm Based on Improved Canny Operator[J]. Computer Engineering, 2012, 38(14): 196-198, 202.
- [14] 胡窦明, 赵海生, 李云川, 等. 一种基于同态滤波的红外图像增强新方法 [J]. 红外技术, 2012, 34(4):

- 224-228.
HU Douming, ZHAO Haisheng, LI Yunchuan, et al. A New Approach to Infrared Image Enhancement Based on Homomorphic Filter[J]. Infrared Technology, 2012, 34(4): 224-228.
- [15] 付晓薇, 丁明跃, 周成平, 等. 基于量子概率统计的医学图像增强算法研究 [J]. 电子学报, 2010, 38(7): 1590-1596.
FU Xiaowei, DING Mingyue, ZHOU Chengping, et al. Research on Image Enhancement Algorithms of Medical Images Based on Quantum Probability Statistics[J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(7): 1590-1596.
- [16] TAKAHASHI H, KOSUGI T, HIRATA A, et al. 10-Gbit/s Quadrature Phase-Shift-Keying Modulator and Demodulator for 120-GHz-Band Wireless Links[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2010, 58(12): 4072-4078.
- [17] ZHOU Jiliu, LU Hang. Image Enhancement Based on A New Genetic Algorithm[J]. Chinese Journal of Computers, 2001, 24(9): 959-964.

An Image Enhancement Algorithm Based on Wavelet Domain

WANG Zuhui, SUN-LIU Jie, SHAO Xue

(College of Communication and Art Design, Shanghai University of Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: Weak image has characteristics such as low contrast, high noise and poor quality, which affected image observation and application to certain degree. Therefore a weak image enhancement algorithm in wavelet domain was proposed through separating the dimensions of the wavelet coefficients by using multi scale and multi resolution wavelet transform from weak image, histogram equalization of low frequency wavelet coefficients, and edge extraction of wavelet coefficients by using Canny operator. Finally, the image enhancement was realized through reconstructing image by combining each dimension of wavelet coefficients. Three pieces of weak images were selected and compared with the traditional image enhancement algorithm. The simulation results showed that three pieces of weak image through this algorithm showed more details in the subjective evaluation, while the visual feeling smoother and more natural. The information entropy of objective evaluation index of value was also the biggest among several classic image enhancement algorithms with the information entropy values being 4.989 3, 3.741 5, 4.796 1 respectively. The PSNR and CE data showed that the proposed algorithm was moderate with the better overall performance. Therefore, enhancement algorithm aimed at weak image was a relatively good image enhancement algorithm, and it achieved the effective image enhancement in the visual effect and image information.

Keywords: weak image; wavelet transform; histogram equalization; Canny operator; image enhancement