

文章编号:1004-9037(2013)05-0597-05

多尺度 Retinex 模型的肝脏超声图像增强算法

黄亚丽^{1,2} 刘志文² 赵 真³

(1. 河北大学电子信息工程学院, 保定, 071002;

2. 北京理工大学信息与电子学院, 北京, 100081; 3. 河北大学附属医院功能科, 保定, 071002)

摘要:基于多尺度 Retinex (Multi-scale Retinex, MSR)模型的图像增强方法是一种基于人眼视觉原理的图像增强方法,能同时有效实现图像的动态范围压缩和颜色保真。本文融合 Retinex 理论,采用 3 个尺度的 Retinex 算法对肝脏超声图像进行增强处理,提取经 MSR 算法增强处理后的正常肝脏和脂肪肝图像的灰度均值、对比度和信息熵参数,并与直方图均衡化算法、同态滤波算法进行对比。实验结果表明:肝脏超声图像经 MSR 算法增强处理后,提高了图像特征参数(对比度、信息熵)的区分度,增强了图像暗区的对比度和清晰度,改善了图像视觉质量,能有效辅助临床诊断。

关键词:图像增强; 多尺度 Retinex 模型; 肝脏超声图像; 特征提取

中图分类号:TN911.73; R445.1

文献标志码:A

Enhancement of Ultrasonic Liver Images Based on Multi-Scale Retinex Model

Huang Yali^{1,2}, Liu Zhiwen², Zhao Zhen³

(1. College of Electronics and Information Engineering, Hebei University, Baoding, 071002, China;

2. School of Information and Electronics, Beijing Institute of Technology, Beijing, 100081, China;

3. Department of Function, Affiliated Hospital of Hebei University, Baoding, 071002, China)

Abstract: Image enhancement algorithm based on multi-scale retinex (MSR) combines the dynamic range compression with the tonal rendition at the same time. Three-scale Retinex model is applied to enhance ultrasonic liver images. Then the lightness, contrast, and entropy of the enhanced images are extracted and extraction results are compared with those of the usual image enhancement methods, such as histogram equalization algorithm and homomorphic filtering algorithm. Experimental results show that the image enhancement algorithm based on MSR model can improve the distinguish degree of ultrasonic liver image features, such as contrast and entropy, as well as increase them, which is helpful to the assisted diagnosis of liver diseases.

Key words: image enhancement; multi-scale Retinex model; ultrasonic liver images; feature extraction

引 言

B 型超声检测用于腹部脏器的诊断,以其无创伤性在临床上广泛使用。由于成像机制的限制,超声图像具有动态范围宽、细节丰富、对比度差等特点。医生凭借肉眼观察图像诊断病情,结果带有主

观性。为使诊断结果更加客观,需要对超声图像进行增强处理,突出病理特征,进一步提取量化特征参数可辅助临床诊断。常用的图像增强方法,如直方图均衡化方法,利用图像直方图信息拉伸输入图像灰度级的动态范围,提高整幅图像的对比度,达到增强目的,但该类方法在处理肝脏超声图像时,密度较小的灰度级常常被归并到旁边密度较高的

灰度级,导致灰度级丢失,损失图像细节,降低图像的信息熵。传统的图像增强方法在增强图像特征和滤除噪声之间常会存在冲突,如何在两者之间找到平衡点,需针对具体图像提出相应方案。以 Retinex 理论为基础的图像增强方法对改进图像增强技术起到了积极作用。Retinex 理论模型自 19 世纪 70 年代提出以来,先后出现了多种基于 Retinex 理论的图像增强方法,其中单尺度 Retinex (Single-scale Retinex, SSR) 和多尺度 Retinex (Multi-scale Retinex, MSR) 增强算法,不仅运算速度快,而且物理意义明确,被广泛应用于各种降质图像的增强、恢复处理^[1-4],及图像自动白平衡处理^[5, 6]。Rahman 等人^[7-8]将 Retinex 理论应用于背景昏暗图像处理,增强了图像细节、提高了图像的视觉质量。本文针对肝脏 B 型超声图像的特点,将 MSR 算法应用于正常肝脏和脂肪肝的超声图像增强研究,并与直方图均衡化和同态滤波方法的增强效果进行了比较。实验结果表明,基于 MSR 理论的图像增强算法能提高肝脏超声图像的对比度和清晰度,以满足医生临床诊断的要求。

1 Retinex 理论

Retinex 理论是一种基于人类视觉系统的感知模型,该模型论述了人眼视觉系统在感知景物图像时具有色感一致性,即人眼具有能够在不同亮度情况下,仍可辨认物体原来颜色的能力^[9]。Retinex 理论认为,图像是由照射光和物体的反射光共同作用的结果,照射光是图像中变化缓慢的低频信息,决定一幅图像中像素所能达到的动态范围;而反射光则包含图像中大部分的高频细节信息,决定图像的一些内在性质^[10-11]。因此,根据 Retinex 理论,理想的图像 $I(x, y)$ 可表示为环境照度函数 $L(x, y)$ 和物体反射性质函数 $R(x, y)$ 的乘积

$$I(x, y) = L(x, y) \times R(x, y) \quad (1)$$

式中:环境照度函数 $L(x, y)$ 描述周围环境的亮度,物体反射性质函数 $R(x, y)$ 描述物体的反射能力。如何从图像中去掉环境照度函数的影响,抽取反射性质函数,来获取物体的本来面貌,得到动态范围压缩良好、细节丰富的图像是 Retinex 理论的实质,由此衍生了各种 Retinex 算法^[12]。

1.1 SSR 算法

Jobson 等人^[13]在 Land 研究成果的基础上,提出了 SSR 算法,由式(1)得

$$R(x, y) = I(x, y) / L(x, y) \quad (2)$$

对式(2)两边同时取对数得

$$\log R(x, y) = \log I(x, y) - \log L(x, y) \quad (3)$$

$$\text{令 } \tilde{L}(x, y) = I(x, y) * F(x, y) \quad (4)$$

式中: $\tilde{L}(x, y)$ 表示对 $L(x, y)$ 的估计; $I(x, y)$ 是输入图像;*代表卷积操作; $F(x, y)$ 是环绕函数,通常采用低通滤波函数,用来估算图像的低频成分。为去除超声成像过程中的高斯斑点噪声,本文采用高斯低通滤波函数估算图像的低频成分,其表达式如下

$$F(x, y) = K \cdot \exp[-r^2 / 2\sigma^2] \quad (5)$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (6)$$

式中: K 为归一化因子,使 $\iint F(x, y) dx dy = 1$; σ 为高斯函数的标准差; r 为高斯函数模板的半径。

将 $L(x, y)$ 的估计 $\tilde{L}(x, y)$ 代入式(3)得

$$\log \tilde{R}(x, y) = \log I(x, y) - \log \tilde{L}(x, y) = \log I(x, y) - \log I(x, y) * F(x, y) \quad (7)$$

式中: $\tilde{R}(x, y)$ 表示对 $R(x, y)$ 的估计。对式(7)两端取反对数,即得到物体反射性质函数的估计 $\tilde{R}(x, y)$ 。

当高斯模板半径 r 较小, σ 较小时,动态范围压缩效果显著,图像中阴暗部分的细节增强效果好,但是输出图像的颜色失真比较严重;反之,输出图像的颜色保真度高,但是动态压缩能力减弱,局部细节模糊。通常在动态范围压缩和色感一致性之间找到一平衡点^[2, 13]。

1.2 MSR 算法

MSR 是一种既可以完成图像的动态范围压缩,又可以保证图像的色感一致性的增强方法。MSR 算法描述如下^[14]

$$\log \tilde{R}(x, y) = \sum_{n=1}^N W_n \{ \log I(x, y) - \log (F_n(x, y) * I(x, y)) \} \quad (8)$$

式中: W_n 表示与 $F_n(x, y)$ 相关的权重系数, N 表示环绕函数 $F(x, y)$ 的个数。一般选取大、中、小 3 个尺度的环绕函数作为卷积核。其中,小尺度的卷积核可实现动态范围压缩,大尺度的卷积核能保证图像的色感一致性,每个尺度的权重系数根据是侧重动态范围压缩还是色感一致性的需要来选取。因为 MSR 算法同时包括了多个尺度的特征,所以在压缩图像动态范围的同时,可以保证图像的色感一致性^[14]。

2 图像修正

利用 MSR 算法处理后的图像像素值会出现负值,超出显示器的显示范围,需要对其修正,将其

平移和压缩到显示器显示范围内。本文采用线性拉伸方式对增强后的图像进行修正

$$G = \begin{cases} 0 & \tilde{R} < d_{\text{low}} \\ \frac{\tilde{R} - \tilde{R}_{\text{min}}}{\tilde{R}_{\text{max}} - \tilde{R}_{\text{min}}} & d_{\text{low}} < \tilde{R} < d_{\text{high}} \\ 255 & \tilde{R} > d_{\text{high}} \end{cases} \quad (9)$$

式中: G 表示经过修正以后的输出图像, \tilde{R} 表示经 Retinex 算法处理后的图像, \tilde{R}_{min} 和 \tilde{R}_{max} 分别表示 \tilde{R} 中的最小值和最大值。 $d_{\text{low}} = m - 3s$, $d_{\text{high}} = m + 3s$,其中 m 和 s 分别表示 \tilde{R} 的均值和方差。

3 MSR 算法在肝脏超声图像增强中的实现

本文应用 MSR 算法模型对肝脏超声图像进行增强处理,算法的核心是如何估算图像的低频分量,然后从原图像中去除低频分量,保留反射分量,即高频信息。选择高斯低通函数作为环绕函数,当高斯函数的半径较小时,图像细节可以很好地展示,图像的动态范围压缩能力也较强;反之,输出图像的颜色保真度高,但是动态压缩能力减弱,局部细节模糊。因此,本文采用 3 种不同尺度的高斯函数对肝脏超声图像进行滤波,然后将 3 种尺度下得到的低频分量进行加权求和,作为对原始图像的低频分量估计。算法实现步骤如下:

(1) 选取原图像中的感兴趣区域(Region of interest, ROI)。

(2) 估计 ROI 的低频分量。分别采用 3 种尺度的高斯低通函数对 ROI 进行滤波估算低频分量。高斯函数半径分别为: $r_1 = 15$, $r_2 = 90$, $r_3 = 240$,相应的高斯函数标准差分别为: $\sigma_1 = 5$, $\sigma_2 = 30$, $\sigma_3 = 80$ 。根据式(4,5,6)分别计算每一种尺度下的低频分量。

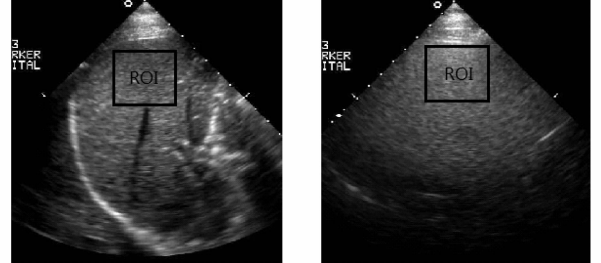
(3) 计算 ROI 的反射分量。对上一步骤中 3 种尺度下得到的低频分量进行加权求和,加权系数均为 1/3,代入式(8),再经反对数变换可得到 ROI 的反射分量 $\tilde{R}(x, y)$ 。

(4) 图像修正及显示。根据式(9)对步骤(3)中得到的图像反射分量 $\tilde{R}(x, y)$ 进行修正、显示。

4 实验与分析

临床上,B超是脂肪肝检查的常用方法。人体肝实质的超声图像由细小的回声光点组成,正常肝脏图像中的回声光点分布均匀,各光点之间结构相

似;当脂肪分布到肝小叶内和肝小叶间形成脂肪肝时,超声图像上可见更加微细致密的强反射光点。即正常肝脏和脂肪肝的超声图像上可见光点粗细与分布的差异,这是医生诊断脂肪肝的重要依据。正常肝和脂肪肝图像如图 1(a,b)所示。

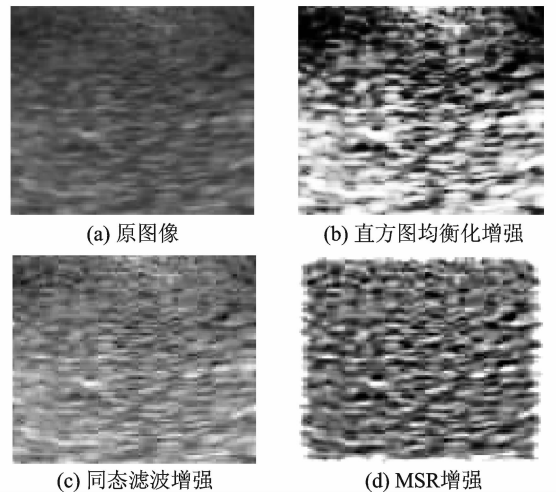


(a) 正常肝脏超声图像

(b) 脂肪肝超声图像

图 1 正常肝脏和脂肪肝超声图像

首先通过人工交互方式在肝脏超声图像扇形区域的中轴偏上部分选择 ROI,如图 1 中矩形框标注。然后对 ROI 分别采用直方图均衡化方法、同态滤波、及 MSR 算法进行增强处理,处理后的图像如图 2,3 所示。图 2,3 分别显示了正常肝脏和脂肪肝图像增强处理后的结果。



(a) 原图像

(b) 直方图均衡化增强

(c) 同态滤波增强

(d) MSR增强

图 2 正常肝脏 ROI 原图像及增强处理后的图像

在图像处理领域,图像质量的评价并无统一标准。实际应用中,经常采用图像的一些数字特征作为图像质量评估的主要客观标准^[15]。为了客观、定量地比较几种图像增强算法的效果,本文采用图像灰度均值、对比度、图像信息熵作为衡量图像质量的客观标准,其中对比度越大,图像越清晰;信息熵越大,信息量越多,图像细节越丰富。分别提取正常肝脏和脂肪肝增强处理后图像的灰度均值、对比度、信息熵等特征参数,并将其与原图像的相应参数比较,如表 1,2 所示。

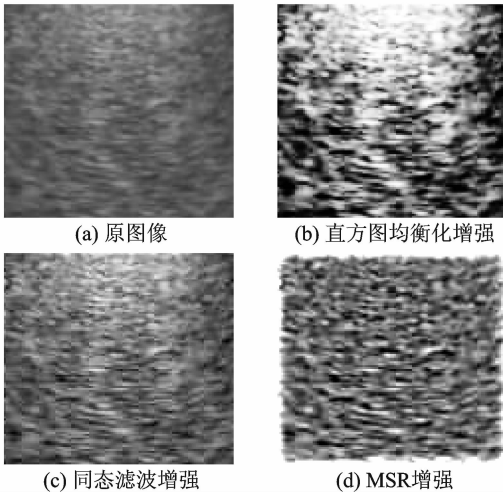


图 3 脂肪肝 ROI 原图像及增强处理后的图像

表 1 正常肝脏图像各种增强算法效果评价表

	均值	对比度	信息熵
原图像	81.492 7	19.738 1	6.299 6
直方图均衡化	127.614 0	74.8741	5.803 2
同态滤波	122.066 0	32.314 2	7.035 8
MSR 增强	121.278 7	62.093 4	7.487 8

表 2 脂肪肝图像各种增强算法效果评价表

	均值	对比度	信息熵
原图像	98.717 9	18.640 2	6.196 5
直方图均衡化	127.441 7	74.652 9	5.746 8
同态滤波	120.976 3	34.911 0	7.136 7
MSR 增强	120.310 2	59.166 3	7.394 7

由表 1,2 可知,直方图均衡化方法虽然对比度较高,但是信息熵降低了,说明有信息丢失。采用基于同态滤波的增强方法后,对比度和信息熵均有改善,但基于 MSR 算法增强后对比度和信息熵有进一步的提高。

为验证算法的有效性,进一步随机选取 10 幅正常肝脏和 10 幅脂肪肝图像,对每一幅图像选取 ROI 进行处理,分别提取原图像及直方图均衡化、同态滤波增强处理后图像的特征参数,包括灰度均值、对比度及信息熵等特征参数,特征参数对比如图 4 所示。

图 4(a,b,c)分别显示了原始图像中 ROI 的灰度均值、对比度和信息熵参数,其中实线表示正常肝、虚线表示脂肪肝,虚、实线含义下图同。图 4(d,e,f)显示了原图像经直方图均衡化增强后的特征参数;图 4(g,h,i)显示同态滤波增强后的特征参数;图 4(j,k,l)显示 MSR 算法增强后的特征参数。由图 4 可知,在原图像中正常肝脏和脂肪肝的灰度有差异,如图 4(a)所示。图 4(d~i)中两类

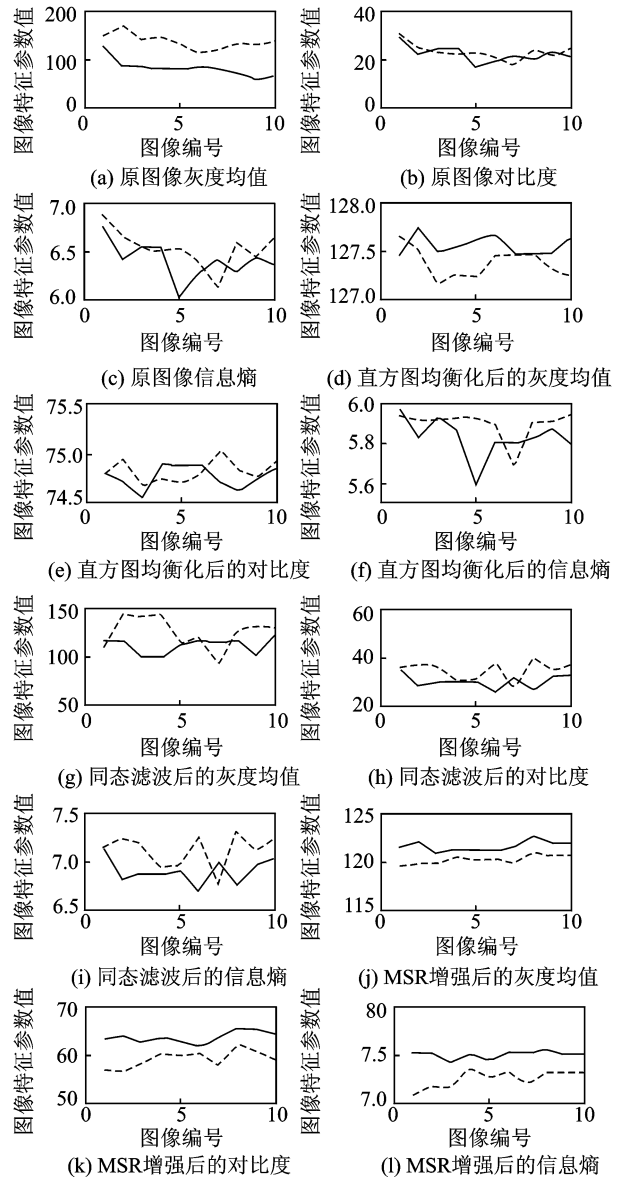


图 4 3 种方法增强处理后图像特征参数对比图

图像的 3 个特征参数差异削弱。经 MSR 增强后,提高了正常肝和脂肪肝图像对比度和信息熵的区分度,如图 4(k,l)所示。由于从原图像中提取的灰度均值参数对两类图像的区分度更大,所以选取原图像均值、经 MSR 算法增强处理后的对比度和信息熵参数作为区分两类图像的特征参数,采用神经网络等模式识别工具可对两类图像进行分类。

5 结束语

本文应用 Retinex 理论对数字 B 型超声正常肝脏图像和脂肪肝图像进行增强处理,并与其他常规的图像增强方法对比。实验结果表明,采用 MSR 增强算法对脂肪肝超声图像进行增强处理,能增加图像的对比度,提高图像的信息熵,有效地提高了图像暗区内细节的可视度。经 MSR 算法

增强处理后肝脏超声图像,提取其对比度和信息熵参数,再结合原图像的灰度均值参数,可辅助临床脂肪肝的诊断,提高诊断率。

参考文献:

- [1] Guarnieri G, Marsi S, Ramponi G. High dynamic range image display with halo and clipping prevention [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2011, 20(5): 1351-1362.
- [2] Vonikakis V, Andreadis I, Gasteratos A. Fast centre-surround contrast modification [J]. *IET Image Processing*, 2008, 2(1): 19-34.
- [3] 汪荣贵,朱静,杨万挺,等. 基于照度分割的局部多尺度 Retinex 算法 [J]. *电子学报*, 2010, 38(5): 1181-1186.
Wang Ronggui, Zhu Jing, Yang Wanting, et al. An improved local multi-scale Retinex algorithm based on illuminance image segmentation [J]. *Chinese Journal of Electronics*, 2010, 38(5): 1181-1186.
- [4] 夏思宇,李久贤,夏良正. 基于色彩恒常性的彩色图像增强改进算法[J]. *南京航空航天大学学报*, 2006, 38(S1): 54-57.
Xia Siyu, Li Jiuxian, Xia Liangzheng. Improved color image enhancement algorithm based on color constancy[J]. *Journal of Nanjing University of Aeronautics and Astronautics*, 2006, 38(S1): 54-57.
- [5] 张钰,姚素英,张娜,等. 改进的 Gray World-Retinex 图像自动白平衡方法 [J]. *数据采集与处理*, 2008, 23(6): 673-677.
Zhang Yu, Yao Suying, Zhang Na, et al. Modified automatic white balance method for gray world-Retinex image [J]. *Journal of Data Acquisition and Processing*, 2008, 23(6): 673-677.
- [6] 钱勇,白瑞林,姚林昌,等. 基于 Bayer CFA 自动白平衡算法的实现 [J]. *数据采集与处理*, 2012, 27(3): 358-362.
Qian Yong, Bai Ruilin, Yao Linchang, et al. Auto white Balance Algorithm Base on Bayer CFA [J]. *Journal of Data Acquisition and Processing*, 2012, 27(3): 358-362.
- [7] Rahman Z, Jobson D J, Woodell G A. Retinex processing for automatic image enhancement [J]. *Journal of Electronic Imaging*, 2004, 13(1): 100-110.
- [8] Rahman Z, Jobson D J, Woodell G A. Investigating the relationship between image enhancement and image compression in the context of the multi-scale Retinex [J]. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 2011, 22(3): 237-250.
- [9] Land E H. The Retinex theory of color vision [J]. *Scientific American*, 1977, 237(6): 108-128.
- [10] Brainard D H, Wandell B A. Analysis of the Retinex theory of color vision [J]. *Journal of the Optical Society of America*, 1986, 3(10): 1651-1661.
- [11] Land E H. Recent advances in retinex theory and some implications for cortical computations: color vision and the natural image [C] // *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1983, 80(16): 5163-5169.
- [12] Ramponi G, Tenze L, Carrato S, et al. Nonlinear contrast enhancement based on the Retinex approach [C] // *Proceedings of SPIE, Image Processing: Algorithms and Systems II*. Santa Clara, CA: SPIE, 2003: 169-177.
- [13] Jobson D J, Rahman Z, Woodell G A. Properties and performance of a center/surround Retinex [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 1997, 6(3): 451-462.
- [14] Jobson D J, Rahman Z, Woodell G A. A multiscale Retinex for bridging the gap between color images and the human observation of scenes [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 1997, 6(7): 965-976.
- [15] 罗忠亮,林土胜. 基于曲波变换的图像非线性对比度增强[J]. *数据采集与处理*, 2009, 24(4): 413-417.
Luo Zhongliang, Lin Tusheng. Nonlinear image contrast enhancement based on curvelet transform [J]. *Journal of Data Acquisition and Processing*, 2009, 24(4): 413-417.

作者简介:黄亚丽(1978-),女,博士研究生,研究方向:医学图像处理、特征提取、模式识别, E-mail: huangyali888@163.com;刘志文(1962-),男,教授,博士生导师,研究方向:医学信号与图像处理、多传感器阵列信号处理、嵌入式与半实物仿真系统开发及应用;赵真(1956-),女,教授,主任医师,研究方向:术中超声、心血管超声。