

基于 Retinex 可变框架的 X 射线图像增强方法研究

程耀瑜, 王 宇

(山西省现代无损检测工程技术研究中心, 中北大学, 山西 太原 030051)

摘 要:应用改进的 Retinex 可变框架模型增强算法,对 X 射线图像进行图像增强,提高了原图像的对比度和像质,达到了细节区域的最佳视觉效果。理论分析和实验结果表明,该算法与同态滤波、直方图均衡化等算法相比,有效地增强了对比度、抑制了背景噪声。该算法对 X 射线图像增强后,图像所达到的射线检测标准比前两种算法要高。

关键词:X 射线图像;图像增强;Retinex 算法

中图分类号:TP391 **文献标识码:**A

The Application of Enhanced Technology of Radiographic Image Based on Retinex

CHENG Yao-yu, WANG Yu

(Modern Nondestructive Testing Engineering Technology Research Center of Shanxi Taiyuan,
North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract:Applying the enhanced improved Retinex algorithm to deal with the radiographic images, the contrast and the quality of the original images can be improved, and the best visual effects of the minutia area are achieved. The theoretical analysis and the result of the experiment indicate that this algorithm compared with other algorithms, such as homomorphism filter and gray equalize, which can effectively enhance contrast, control the context and noise. After enhanced the radiographic images by using this algorithm, the images will have better contrast than the first and second algorithms.

Key words:radiographic image; image enhancement; Retinex algorithm

1 引 言

X 射线成像系统已广泛应用在工业无损检测中。X 射线成像结果的好坏直接影响到检测的效率与质量。而在 X 射线成像系统中,由于射线照相对比度、射线照相不清晰度以及各种硬件的制约,其图像存在噪声大、反差低、图像模糊、图像细节信息被噪声所淹没等特点,因此实际中所获取的 X 射线图像的亮度很低且存在背景噪声,所以需要一种有效图像增强算法,在能够提高图像中较暗区域的细节信息的同时,又能够抑制系统噪声和背景噪声以更好地显示图像^[1]。

当前 X 射线图像增强算法非常多,如直方图均衡、同态滤波等,但这些方法都只是对一部分具有特

殊性质的图像有较好的效果,例如,直方图均衡方法在原始图像灰度等级低的情况下,能够取得较好的增强效果,但是当图像的灰度等级高即细节显示多时,增强的结果就无法令人满意;当图像中的亮度有较大差异时,同态滤波方法往往会产生较多的假象。

本文针对 X 射线图像的特点及常规增强方法的不足,提出了 Retinex 可变框架模型算法对 X 射线图像进行增强处理,以满足工业 X 射线检测标准的需要,提高检测的效率与质量。

作者简介:程耀瑜(1966-),男,教授,博士,主要研究方向为射线无损检测,信息处理技术和系统开发。E-mail: chengyaoyu66@163.com

收稿日期:2008-04-01; **修订日期:**2008-05-30

2 Retinex 理论

Retinex(视网膜“Retina”和大脑皮层“Cortex”的缩写)是由 Edwin Land 提出来的,不同于传统的图像增强算法,如线性、非线性变换、图像锐化等只能增强图像的某一类特征,如压缩图像的动态范围,或增强图像的边缘等,Retinex 可以在灰度动态范围压缩,边缘增强和颜色恒定性三方面达到平衡,因而可以对各种不同类型的图像进行自适应性地增强^[2-4]。Retinex 的基本原理是将一幅图像分为亮度图像和反射图像两部分,然后通过降低亮度图像对反射图像的影响而达到增强图像的目的^[5]。根据 Land 提出的 Retinex 模型,一幅图像的反射光可以定义为 $S(x,y)$:

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

式中, R 表示周围环境的亮度,与物体无关; L 指物体反射能力,与照明无关,它包含了物体的细节特征。

在 Retinex 理论发展的过程中,根据估计亮度图像方法的不同,先后出现了许多种基于 Retinex 理论的图像增强方法,如最开始的随机步行算法、泊松方程算法、同态滤波算法,到后来有名的单尺度 Retinex 算法、多尺度 Retinex 算法、McCann's Retinex 算法等一直到最新的可变 Retinex 模型等。

3 基于 Retinex 理论的可变框架模型

基于 Retinex 算法的假设,Kimmel 等人给出了如下的方程式:

$$\text{Minimize: } F[L] = \int_{\Omega} ((|\nabla L|)^2 + \alpha(L-S)^2 + \beta|\nabla(L-S)|^2) dx dy \quad (2)$$

$$\text{Subject to: } L \geq S \text{ and } \langle \nabla L, \vec{n} \rangle = 0 \text{ on } \partial\Omega \quad (3)$$

式中, Ω 是图像; L 是亮度图像; S 是原始图像; $\partial\Omega$ 是表示图像边缘; α 和 β 是非负系数。上述公式中 $|\nabla L|$ 使得亮度图像在空间域中平滑。条件 $(L-S)^2$ 使得亮度图像趋近于原始图像,它们之间的差就是反射图像。 $|\nabla(L-S)|^2$ 类似于贝叶斯表达式,使得到的反射图像更适合于视觉特性。

上述方程式是一个二次方程,当 L 的值是亮度图像的灰度值时,方程获得最小值。因此,为了获得最小值,即亮度图像 L ,首先必须对方程进行求导,如式(4)所示:

$$\frac{\partial F[L]}{\partial L} = 0 = -\Delta L + \alpha(L-S) - \beta \nabla(L-S) \quad (4)$$

经过一定的迭代过后,就可以获得对亮度图像 L 的最优逼近值,再由原始图像 S 是亮度图像和反

射图像的乘积,因此,用原始图像在对数域中减去亮度图像,就可以获得反射图像,进而对图像进行符合人眼视觉特性的增强。

尽管用以上模型可以正确求解 Retinex 问题,但它有几处缺陷:

(1) 光晕:光晕的存在是 Retinex 算法经常碰到的。它是平滑性假设的一个直接后果。从一个亮区域穿越到黑暗地带的时候,平滑性要求在黑暗区域的边缘附近保持较高的值,然后平滑地降低到黑暗区域内部的亮度值。因此当边缘附近的黑暗区域被移除后,会伴随光晕效果。

(2) 噪声:在图像的黑暗区域 Retinex 算法会产生一个对比度拉升,它与标准 Gamma 校正的效果非常相似。这个拉升造成噪声的放大,并在低质量的图像或没有显著压缩的图像上表现特别明显。

(3) 迭代求解:以上模型自然地导致一个对迭代解决方法的需要。

4 改进的 Retinex 可变框架模型的图像增强算法在 X 射线图像中的应用

针对以上提出的 Retinex 可变框架模型的缺陷,提出新的假设用来改进的 Retinex 可变框架模型,以解决光晕和噪声问题,并得到新的迭代公式。

4.1 改进的 Retinex 可变框架模型算法实现

基于以上分析,我们需要对该模型进行一些修改。分析可变框架模型的方程式得到:

(1) 方程(2)中第一个限制条件 $|\nabla L|^2$ 是为了促使入射光尽可能地空间平滑。

(2) 在可变框架模型中,第三个限制条件 $|\nabla(L-S)|$ 是为使 R 尽可能地平滑。这个限制条件的强弱由自由参数 β 决定。

(3) 第二个限制条件 $L \geq S$ 是为了使 L 尽可能接近 S ,这意味着 R 应该尽可能地小。但为了不使 L 太过于靠近 S , α 应该尽可能地小。

考虑到图像增强后的效果,我们认为:

(1) $\beta = 0$ 。因为光晕效果的产生,其主要的原因就是 R 太过平滑而越过了物体的边界,因此在这里我们把它设为 0,这样能有效地去除光晕效应。

(2) $\alpha \rightarrow 0$ 是一个合理的假设,因为 α 应该尽可能地小。

根据新的假设,得到新的方程组:

$$\begin{cases} \forall (x,y) \in \Omega \\ \frac{\partial F[L]}{\partial L} = 0 = -\Delta L + \alpha(L-S) \approx -\Delta L \\ L > S \end{cases} \quad (5)$$

迭代公式可以简化为:

$$L_S = L_{S-1} - G \quad (6)$$

这个新的迭代公式比原来的公式不仅更简单,而且还能有效地遏制光晕现象和噪声。

4.2 运算结果及分析

这里我们使用射线检测中常用的美国标准 ASTM11 号像质计,被测工件是壁厚为 4.5mm 的锅炉焊管对接焊缝,采用双壁双影的工业 X 射线照射方法进行实验。图 1~图 4 分别为原始图像、直方图均衡化图像、同态滤波图像、改进的 Retinex 可变框架模型图像。

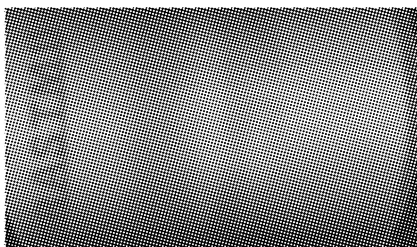


图 1 原始图像

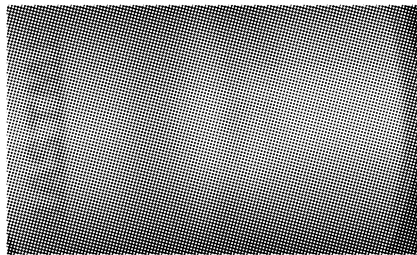


图 2 直方图均衡化图像

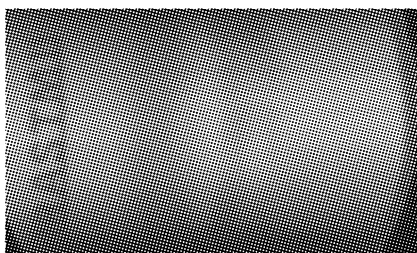


图 3 同态滤波图像

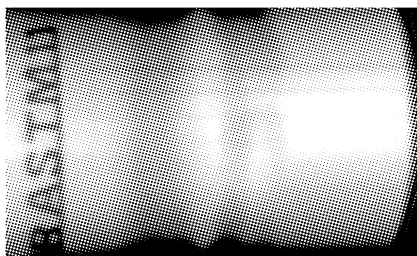


图 4 改进的 Retinex 可变框架模型图像

从图中可以看到,原始图像中像质计只能看到第三根,而改进的 Retinex 可变框架模型算法处理后

清晰可见第五根,达到并超过了美国标准。经比较发现,在原图像内信息难以分辨的情况下,直方图均衡化算法在提高整体亮度的同时,使图像边缘部分变得模糊且导致了细节显示的下降;虽然同态滤波使对比度有了明显的提高,但该方法对图像的暗区增强效果仍不理想,图像灰度集中在暗区,整体效果偏暗;而利用改进的 Retinex 可变框架模型算法能够得到比较满意的增强结果,图像对比度得到显著提高,且抑制了噪声。由于该算法对原始图像的对比度要求不高,因此能够有效地增强图像中暗区的信息,从而使得图像更加清晰。

实验结果证明了增强结果不但提高了图像的对比度,抑制了背景噪声,同时使被测工件的细节更明显,而且具有较广泛的适用范围。

5 结束语

X 射线成像对比度低,背景噪声明显,被测工件细节不易显示。本文针对 X 图像的成像特点,在讨论了一种 Retinex 理论的可变框架模型的基础上,根据 X 射线图像的特点,采用改进的 Retinex 可变框架模型算法进行处理。实验结果表明,该算法对图像的灰度处理具有较好的效果,提高了图像对比度,使 X 射线成像能提高对比度,同时抑制噪声,清晰的显示细节。

参考文献:

- [1] 程耀瑜,韩焱,潘德恒,等. 高、低能 X 射线数字成像内视仪的研制[J]. 仪器仪表学报, 2002, 23(6): 579-583.
- [2] D J Jobson, Z Rahman, G A Woodell. Properties and performance of a center / Surround Retinex [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1997, 6(3): 451-462.
- [3] Zia-ur Rahman, Daniel J Jobson, Glenn A Woodell. Retinex processing for automatic image enhancement [J]. Journal of Electronic Imaging, 2004, 13: 100-110.
- [4] D J Jobson, Z Rahman, G A Woodell. Retinex image processing: improved fidelity to direct visual observation [C]//Scottsdale, USA: Proceedings of IST/ SID 4th Color Imaging Conference: Color Science, Systems and Applications, 1996, 124-126.
- [5] D J Jobson, Z Rahman, G A Woodell. Feature visibility limits in the non-linear enhancement of turbid images, Visual Information Processing XII [C]//Proc. SPIE, 2003, 5108: 7-23.