

# 一种 X 射线图像增强方案

崔玉柱, 刘清华

(国家数字化 X 射线成像仪器中心 中国工程物理研究院应用电子学研究所, 绵阳 621000)

**摘要:** X 射线图像信息量大, 通常不止一个灰度层次, 运用图像增强方法可以提高图像对比度和像质, 达到细节区域的最佳视觉效果。笔者首先分析了图像直方图层次; 然后针对不同层次的图像内容, 采用模糊松弛迭代算法建立了模糊集映射函数, 对射线图像进行迭代运算; 最后, 使用迭代处理结果进一步做 Sobel 边缘检测算子处理和均值滤波处理。试验表明, 该算法增强了图像视觉效果, 且增强了图像中不同灰度层次的边缘细节信息, 使得图像层次感更加明显。

**关键词:** X 射线图像; 模糊松弛迭代算法; Sobel 边缘检测; 均值滤波

中图分类号: TP391

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2014)01-0045-04

## An Image Enhancement Method of X-ray Image

CUI Yu-zhu, LIU Qing-hua

(National Digital X-ray Imaging Equipment Center, Institute of Applied Electronics China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621000, China)

**Abstract:** X-ray image possesses large quantity of information, and there is usually a plurality of gray level information in it. Image enhancement processing, in common use, can enhance image contrast and improve image quality. And the detail information of X-ray image achieves the best visual effect. The paper first analyzes the different hierarchical image content of X-ray image, which possess large amount of information as well as background noise. Then, it establishes mapping function of X-ray image by using fuzzy function and iterative procedure, which can be achieved for distinguishing different levels of X-ray image content. Finally, the paper processes X-ray image separately by using Sobel edge detection operator and mean filter. The experimental results demonstrate that this proposed enhancement method can receive better visual acuity, and there is a distinct hierarchical enhancement of X-ray image.

**Keywords:** X-ray image; Fuzzy relaxation iteration algorithm; Sobel edge detection; Mean filter

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。由于数字 X 射线成像系统中存在 X 射线散射、电子噪声、光子噪声等不利因素, 其获取的 X 射线图像有如下特点<sup>[1-2]</sup>: 图像信息量大且存在背景噪声; 图像信噪比较低, 目标和背景的空间对比度相对较低, 目标被噪声所湮没; 图像模糊等。因此, 需要对图像进行处理以改善视觉质量, 便于对感兴趣区域进行正确判读或后续计算机自动分割等

处理。图像增强技术可以将图像中感兴趣的特征有选择地突出, 而衰减掉不需要的特征, 以此提高图像的对比度与视觉质量, 尽可能多地传递图像信息给观察者<sup>[3-4]</sup>。

传统的图像增强方法有空域法和频域法。空域法有三类: 点对点、空域滤波和直方图方法; 频域法是利用图像的各种变换域的处理方法, 例如 DCT 变换、Walsh 变换和小波变换法。常用的空域图像增强方法包括: 灰度变换方法、直方图处理方法、空域滤波方法等。直方图处理方法调整灰阶的动态分布, 将图像灰阶调整到近似均匀分布, 增强图像整体的对比度, 这种方法对于那些灰度分布偏小或偏大

收稿日期: 2013-03-19

作者简介: 崔玉柱(1985—), 男, 研究实习员, 硕士, 主要研究方向为射线图像增强。

的图像效果比较明显,其增强了图像的层次感,达到了增强图像视觉效果的目的;空域滤波方法通过加强图像的边缘和弱化图像的低频成分,使得图像棱角分明且局部区域的对比度提高,从而图像看上去清楚了一些,但是增加边缘信息的同时,不可避免地也放大了噪声,降低了图像的信噪比。直方图处理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,即细节显示要求高时,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,空域滤波方法往往会产生较多的假象<sup>[5]</sup>。

笔者针对 X 射线图像的特点及常规图像增强方法存在的不足,提出了一种有效的图像增强方法。它利用模糊松弛迭代技术建立映射函数,采用逐渐逼近迭代方式进行运算;然后,利用边缘检测算子和滤波方法对上一步松弛迭代运算获得的图像进行处理。试验证明,该算法增强了图像视觉效果,增强了图像中较暗区域的细节信息、抑制了背景噪声,从而更好地显示出图像。

## 1 图像增强方案

### 1.1 模糊松弛迭代算法

X 射线图像信息量大,通常不止一个灰度层次,而且人们往往对图像的多个灰度层次信息都感兴趣。文章采用模糊松弛迭代算法实现对多层次图像的增强,这种算法应用于图像增强时有很好的收敛特性。其流程为:首先,将图像  $X$  的空间像素集用模糊函数映射到模糊集  $X_f$ ;然后,对模糊集  $X_f$  用迭代增强函数  $T(\mu_{ij})$  处理,得到迭代计算后的模糊集;最后,用映射函数的逆变换映射到图像的空间域<sup>[6-7]</sup>。

空间域上的  $M \times N$  大小的灰度图像  $x_{ij}$ , 对应模糊域  $X_f$  中被表示为:

$$X_f = \{(x_{ij}, \mu_{ij}) \mid x_{ij} \in \Omega, \\ i = 1, \dots, M; j = 1, \dots, N\} \quad (1)$$

式中:  $i, j$  为像素点对应坐标;  $x_{ij}$  为原始像素点的灰度值。

经典思路采用分段函数实现灰度映射  $\mu_{ij}$ , 分段映射函数被定义为:

$$\mu_{ij} = \mu(x_{ij}; a, c) = \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin \left[ \frac{\pi}{c-a} \left( x_{ij} - \frac{a+c}{2} \right) \right] \quad (2)$$

对模糊域  $X_f$  进行迭代增强处理的函数定义为  $z_{ij} = T(\mu_{ij})$ , 迭代过程为:

$$\mu_{ij}^{(n)} = T(\mu_{ij}^{(n-1)}) \quad (3)$$

式中:  $n$  为迭代次数。迭代过程具有较好的收敛特性。

用于增强变换的迭代函数定义为:

$$T(\mu_{ij}) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ S_1(\mu_{ij}; a, b) & a < x \leq b \\ S_2(\mu_{ij}; b, c) & b < x \leq c \\ 1 & x > c \end{cases} \quad (4)$$

其中:

$$S_1(x; a, b) = \frac{(x-a)^2}{K_1} \quad (5)$$

$$S_2(x; a, b, c) = 1 - \frac{(x-c)^2}{K_2} \quad (6)$$

$$K_1 = (b-a)(c-a) \quad (7)$$

$$K_2 = (c-b)(c-a)$$

最后,对映射函数的逆过程将模糊域映射回图像的空间域:

$$\mu_{ij}^{-1} = \frac{a+c}{2} + \frac{c-a}{\pi} \arcsin(2z_{ij} - 1) \quad (8)$$

上式中:三个参数  $a, b, c$  为可调参数,如  $a$  可取 0,  $b$  为灰度平均值,  $c$  为灰度最大值。它们可根据图像的直方图进行调整,也可根据图像增强效果选择合适的迭代次数作为终止条件。

传统增强算法的图像增强结果存在增强不足或过分增强的问题。而模糊松弛迭代技术,通过分析各子层图像的直方图,分别设定各子层的模糊松弛参数,并利用模糊函数建立其映射函数,利用逐渐逼近的迭代方式运算,迭代次数不同对应不同程度的增强结果。因此,整个迭代过程产生了不同程度的多个增强结果,可以根据实际情况选择满足需求的增强效果。

### 1.2 边缘检测与滤波处理

边缘检测的目的是标识数字图像中灰度变化明显的点。它能大幅度地减少数据量,并且可以剔除认为不相关的信息,保留图像重要的结构属性。边缘检测算法包括基于图像强度的一阶和二阶导数。常用的边缘检测算法包括:一阶导数方法主要有 Roberts Cross 算子, Prewitt 算子, Sobel 算子, Canny 算子等;二阶导数方法主要有 Marr-Hildreth 等。但导数计算对噪声很敏感,因此必须使用滤波器来改善与噪声有关的边缘检测器的性能。

为了突出射线图像细节信息,笔者利用边缘检测方法和滤波方法对经模糊拟步处理的射线图像进一步增强处理。此处采用 Sobel 边缘检测算子(图 1)增强边缘信息,采用均值滤波方法抑制图像噪声

-1	0	+1	+1	+2	+1
-2	0	+2	0	0	0
-1	0	+1	-1	-2	-1

(a) 横向算子

(b) 纵向算子

图 1 Sobel 边缘检测算子

放大<sup>[8]</sup>。

## 2 试验结果与分析

试验图像为焊接工件 DR 图像。工件焊接部位是 5~10 mm 厚度渐变钢。试验采用 225 kV 固定式 X 光机, PE0820 探测器进行采集。采集参数包括:电压 220 kV, 电流 3 mA, 积分时间 1 s, 小焦点模式。

焊接工件 DR 图像的主要特征有:检验分辨力的丝线, 同时由于探测器个别像元损坏在图像中会有个别像素点无效; 焊接工件边缘和中心处厚度差别较大, 在图像中即呈现出灰度渐变; 焊接处存在个别气泡, 增强结果需要分辨出气泡位置。

图 2 是使用焊接工件 DR 图像, 在原图像中人眼无法直接观察到图像细节。根据 DR 直方图(图

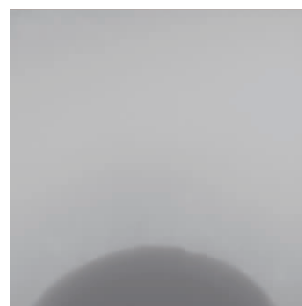


图 2 焊接工件 DR 图像

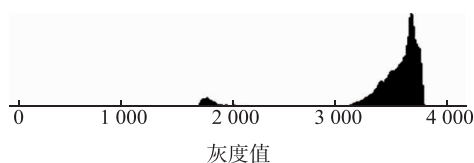
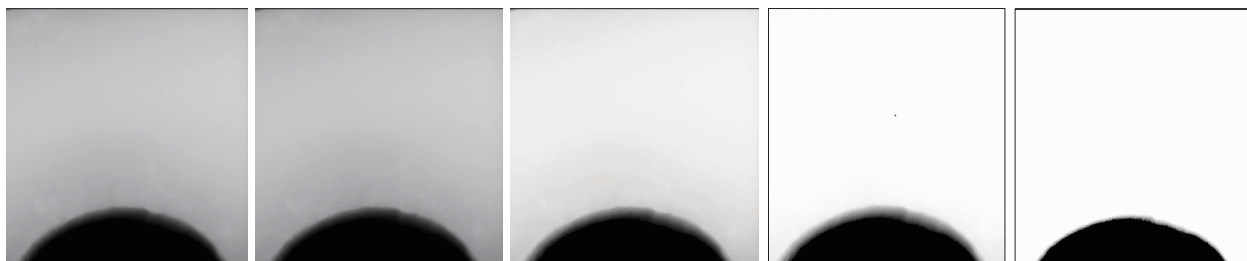


图 3 DR 图像直方图

3) 分析, 可以看出图像动态范围是 0 到 4 095; 图像具有明显的双峰特性, 图像的灰度值集中分布在 1 753~2 103 和 2 693~3 323 两个层次内。

### 2.1 模糊松弛迭代处理结果

利用模糊松弛迭代算法处理后获得如图 4 所示结果。



(a) 迭代 1 次

(b) 迭代 2 次

(c) 迭代 4 次

(d) 迭代 6 次

(e) 迭代 11 次

图 4 模糊松弛迭代处理结果

图 4 中(a)~(e)代表了不同迭代次数时的模糊松弛算法的运算结果。可以看出, 经过逐步迭代, 焊接处的纹理逐渐清晰, 图像的灰度对比度拉升逐渐加大, 但随着迭代次数增加, 如迭代次数为 6 次或大于 6 次时, 迭代次数过多时产生了灰度压缩现象。

### 2.2 边缘增强和滤波处理结果

图 5 是直方图增强结果。选择图 4(b)进行 Sobel 边缘检测算子处理和均值滤波处理, 获得的增强结果如图 6 所示。

从图 6 中可以看出, 原始图像中像质计只能看到第三根, 笔者进行增强处理后清晰可见第五根; 可以分辨出焊接边缘左下方的较大气泡和焊接边缘中

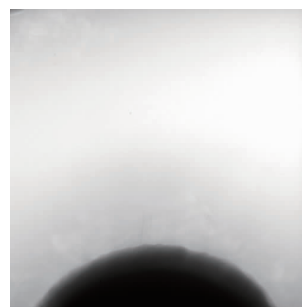


图 5 直方图增强结果

部的较小气泡; 可以分辨出由于探测器个别像元损坏, 在图像中出现的个别无效像素点。

与原图像及直方图处理后的图像进行比较后发

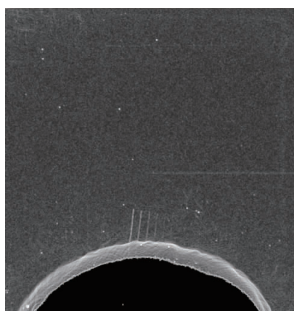


图6 采用边缘检测算子和滤波方法的增强结果

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;而利用笔者的算法能够得到比较满意的增强效果,显著提高了图像对比度,有效地增强了图像中暗区的细节信息且抑制了背景噪声,使得图像显示更加清晰。

### 2.3 试验分析

对于处理前、后图像对比度增强的程度的多少,采用均方差和对比度改善指数作为判别指标<sup>[9]</sup>进行衡量。均方差即图像灰度值的均方差。对比度改善指数 CII(Contrast Improvement Index)为:

$$CII = \frac{C_{\text{processed}}}{C_{\text{original}}} \quad (9)$$

式中: $C_{\text{processed}}$ 为处理后图像的图像对比度; $C_{\text{original}}$ 为原始图像的图像对比度。

将图像分为  $5 \times 5$  的子块,其中  $C$  表示所有  $5 \times 5$  子块的图像对比度。对比度定义为:

$$C = \frac{G_{\text{max}} - G_{\text{min}}}{G_{\text{max}} + G_{\text{min}}} \quad (10)$$

式中: $G_{\text{max}}$ 为该子块图像灰度值的最大值; $G_{\text{min}}$ 为该子块图像灰度值的最小值。整幅图像的对比度是各子块图像对比度的均值。原图像的对比度改善指数为 1。对比度改善指数的取值越大表示图像对比度越好。

表 1 为处理前后图像的均值、均方差和对比度改善指数数值。从表 1 可以看出,与原图像相比,处理后图像的灰度适中,均方差增大,对比度改善指数大于 1,且优于直方图增强结果。说明处理前后图像的亮度和对比度有了明显的改善,细节信息有了

(上接第 44 页)

- 号界面的衰减研究[J]. 振动与冲击,2008,27(9):139-141.
- [2] 杨明伟. 声发射检测[M]. 北京:机械工业出版社,2005:1-50.
- [3] 张虹,靳世久. 不同管道特征对声发射信号幅度的衰减影响[J]. 管道技术与设备,2007(3):13-14.

表1 处理前后图像的均值、均方差和对比度改善指数

图像	原图像	直方图增强结果	处理后增强结果
均值	2 935.56	2 938.65	2 751.53
均方差	428.80	433.71	1 027.01
对比度改善指数	1.00	1.02	2.35

明显的增强。

### 3 结论

利用模糊松弛迭代算法进行迭代运算,结合边缘检测算子和滤波方法进行增强处理,最终增强后的图像的多层次细节信息得到保留,整体视觉质量较好。试验结果证明:与传统算法相比,该方法能够提高图像中较暗区域的细节信息,又能够抑制系统噪声和背景噪声,使被测工件的细节更明显。

### 参考文献:

- [1] 张明慧. 数字 CR 医学图像自适应增强方法研究[D]. 长春:中国科学院长春光学精密机械与物理研究所,2005.
- [2] 李名庆,高新波,许晶. 多尺度塔型医学图像增强算法[J]. 中国生物医学工程学报,2006,25(2):178-181.
- [3] 陈雾. 基于 Retinex 理论的图像增强算法研究[D]. 南京:南京理工大学,2006.
- [4] 余岱,鲍旭东. 基于人眼视觉特性的多尺度 DR 图像增强方法[J]. 生物医学工程研究,2010,29(1):5-8.
- [5] 程耀瑜,王宇. 基于 Retinex 可变框架的 X 射线图像增强方法研究[J]. 激光与红外,2008,38(10):1053-1055.
- [6] ZHOU Shang-ming, JOHN Q. Gan. A new fuzzy relaxation algorithm for image enhancement[J]. International Journal of Knowledge-based and Intelligent Engineering Systems,2006(10):181-192.
- [7] 刘博,胡正平,王成儒. 基于模糊松弛迭代的分层图像增强算法[J]. 光学技术,2009,35(1):131-137.
- [8] 丰国栋. 数字化 X 线摄影图像增强方法研究[D]. 合肥:中国科学技术大学,2009.
- [9] 周旋,周树道,黄峰,等. 基于小波变换的图像增强新算法[J]. 计算机应用,2005,25(3):606-608.
- [4] 邹银辉,文光才,胡千庭,等. 岩体声发射传播衰减理论分析与试验研究[J]. 煤炭学报,2004(6):25-29.
- [5] 孙立瑛,李一博. 充液管道中声发射波的传播及衰减特性研究[J]. 压电与声光,2008(8):401-402
- [6] 曾毅. 声发射信号不同界面传播特性的试验研究[D]. 南宁:广西大学,2010.