

符合人眼视觉特性的焊缝射线数字图像增强方法

穆为磊, 高建民, 陈富民, 姜洪权

(西安交通大学机械制造系统工程国家重点实验室, 710049, 西安)

摘要: 针对焊缝射线检测数字图像的灰度低、对比度低的问题, 提出了一种符合人眼视觉特性的图像增强方法. 该算法先标定数字化仪器, 得到各种数字化条件下的黑度与灰度关系. 其次, 根据成像条件得到待处理图像的成像特性, 通过该成像特性的 2 个极点来获得图像处理的目标特性. 最后, 利用由成像特性和目标特性得到的图像灰度级映射变换函数, 对图像进行了空域增强处理. 实验结果表明, 该算法将原图的灰度级差异从 145 提高到 157, 使原图平均灰度级从 35 提高到 120. 与线性变换算法相比, 该算法没有产生信息丢失; 与直方图均衡算法相比, 该算法将图像平均灰度级提高到 120 且属于人眼敏感的范围.

关键词: 人眼视觉特性; 射线图像; 图像增强

中图分类号: TN911.73 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2012)03-0090-04

Weld Radiographic Image Enhancement Conforming to Human Visual System

MU Weilei, GAO Jianmin, CHEN Fumin, JIANG Hongquan

(State Key Laboratory for Manufacturing Systems Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: For the problem of low brightness and contrast in weld radiographic images, an image enhancing strategy for human visual system is proposed. The proposed method calibrates the imaging system under the certain conditions, and finds the imaging characteristics of the original image from the calibrating results. Then the objective characteristics are obtained by the imaging poles. The gray-level mapping transformation function is gained and applied to image enhancement. The experimental results demonstrate that the proposed strategy promotes the gray level difference from 145 to 157 and the average gray from 35 to 120 without information loss. Compared with histogram equalization, the proposed strategy enables to improve the average gray of radiographic image to 120 which belongs to the high-resolution gray range of human visual system.

Keywords: human visual system; radiography image; image enhancement

在工业射线检测中, 评片人员通过分析射线胶片数字图像来评定射线焊缝的质量^[1-2], 由于射线胶片数字图像具有灰度低、对比度低的问题, 人眼辨别比较困难, 容易造成评定的错误或遗漏, 因此提高图像质量具有重要的意义. 图像增强是提高图像的亮度和对比度的基本手段, 目前已经出现了许多图像

增强的算法, 但传统算法没有考虑到人眼的视觉系统特性, 如直方图均衡法、线性变换等^[3-4], 而多尺度的图像增强算法在医用 X 射线图像中得到了广泛的应用^[5]. 目前, 工业射线缺陷识别主要是靠人的眼睛通过观察图像来实现的^[6-7], 因此在图像增强中应充分考虑人眼的视觉特性^[8-10].

本文提出了一种符合人眼视觉特性的图像增强算法,人眼视觉特性是指人眼对灰度强分辨能力的范围.该方法包括:①由实验和插值得到数字化系统成像特性,该系统成像特性是指在一定的数字化条件下射线胶片光学密度与图像灰度的映射关系;②生成目标特性,该目标特性是指根据一定的要求生成的射线胶片光学密度与图像灰度的映射关系;③将系统成像特性与目标特性进行运算,得到灰度变换函数,运用灰度变换函数对图像进行增强.

1 获得数字化系统成像特性

采用实验的方法获得了 4 种条件下的系统成像特性,然后采用插值的方法求得其他条件下的系统成像特性.

1.1 实验获得系统成像特性

采用工业射线检测胶片数字化仪器对胶片进行数字化实验,为了降低算法的复杂程度,采用固定的相机曝光时间、增益、光圈和可变的光源光强度 I_n 进行实验.在相机曝光时间为 500 μ s、增益为 0、光圈为 2 的条件下,分别取 20%、31%、51%和 78%的 I_n 对阶梯光学密度胶片进行数字化处理,得到了 4 幅数字化图像.读取各图像中阶梯黑度对应的图像灰度级 G ,如表 1 所示.

图 1 给出了 4 种数字化条件下系统的成像特性.对各成像特性进行拟合,得到数字图像灰度级为

$$G = ae^{bD} \tag{1}$$

式中: D 为胶片的光学密度; a 、 b 分别为系统特性关系式中的系数.各成像特性关系式的系数如表 2 所示.

表 1 4 种光源光强度条件下的实验数据

$I_n / \%$	G							
	$D=0.5$	$D=1.0$	$D=1.5$	$D=2.0$	$D=2.5$	$D=3.0$	$D=3.5$	$D=4.0$
20	4 095	2 601	1 151	780	413	144	—	—
31	—	4 095	2 508	1 369	769	411	143	—
51	—	—	4 095	2 904	1 405	897	524	166
78	—	—	—	—	4 095	1 644	279	271

注:“—”表示没有获得光学密度胶片的信息.

表 2 4 种光源光强度条件下的成像特性系数

$I_n / \%$	a	b
20	7 376	-1.140
31	12 540	-1.106
51	19 240	-1.010
78	721 300	-2.065

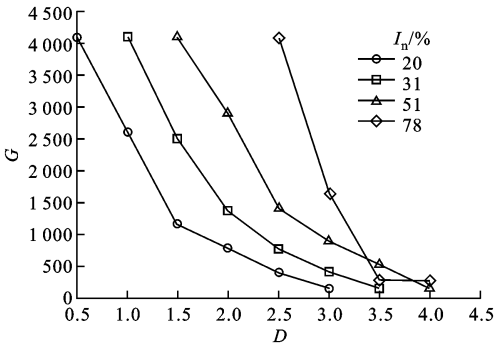


图 1 光学密度与图像灰度级的关系

1.2 插值获得成像特性

通过分段线性插值求得 I_n 在 20%~78%之间的任意值所对应的成像特性系数的插值

$$a = \begin{cases} \frac{0.11I_n + 221.44}{5\ 164} & 20\% \leq I_n \leq 31\% \\ \frac{0.20I_n - 431}{6\ 700} & 31\% < I_n \leq 51\% \\ \frac{0.27I_n + 352\ 855.8}{702\ 060} & 51\% < I_n \leq 78\% \end{cases} \tag{2}$$

$$b = \begin{cases} \frac{0.11I_n + 0.132\ 2}{0.034} & 20\% \leq I_n \leq 31\% \\ \frac{0.20I_n + 0.251\ 0}{0.096} & 31\% < I_n \leq 51\% \\ \frac{0.27I_n - 0.265\ 4}{-1.055} & 51\% < I_n \leq 78\% \end{cases} \tag{3}$$

根据式(2)、式(3)可以求出 I_n 为 20%~78%中任意值的系统成像特性系数,所有的成像特性关系式可表示为

$$G = f_n(D), \quad n = 20, 21, \dots, 78 \tag{4}$$

2 获得目标特性

为了提高由相同光学密度胶片得到的图像灰度级,定义了一种目标特性关系.本文采用通过成像特性两端点的直线作为目标特性曲线,如图 2 所示.该目标特性可以表示为

$$G' = \frac{G_1 - G_0}{D_1 - D_0}(D - D_1) + G_1, \quad G_0 = 4\ 095; \\ D_0 = f_n^{-1}(4\ 095); \quad D_1 = 4.0; \quad G_1 = f_n(4.0) \tag{5}$$

式中: G' 、 D 分别为目标特性的图像灰度级和胶片的光学密度; G_0 、 D_0 分别为成像特性中左边极点的灰度级和光学密度; G_1 、 D_1 分别为成像特性中右边极

点的灰度级和光学密度。

2.1 灰度级映射变换函数

根据胶片数字化的光源光强度,使用式(1)、式(2)和式(3)可以确定成像特性的关系式为

$$G = f_n(D), \quad n = I_n \tag{6}$$

该成像特性曲线由数字化的光源条件唯一确定,成像特性和目标特性曲线如图 2 所示.由式(5)和式(6)可以得到从成像特性到目标特性的变换关系,即原始图像灰度级至目标图像灰度级映射变换关系为

$$G_2 = \frac{f_n(4.0) - 4\ 095}{4.0 - f_n^{-1}(4\ 095)} \cdot (f_n^{-1}(G_1) - 4.0) + f_n(4.0) \tag{7}$$

式中: G_2 、 G_1 分别为原始图像灰度级和变换后图像灰度级。

根据式(7)可以将原始图像的灰度级变换为处理后的图像灰度级。

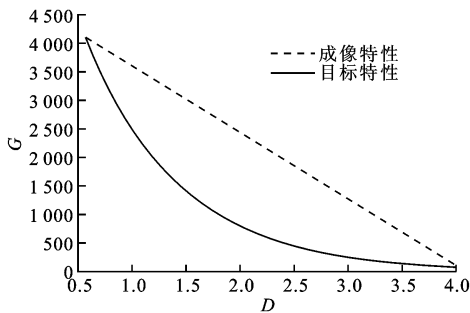


图 2 灰度映射变换的 2 种特性曲线

2.2 人眼的视觉特性

由于人眼对亮度的分辨力具有韦伯比特性,当人眼适应了某种恒定的背景亮度后,对黑白的感应范围缩小,所以对高亮度背景和低亮度背景中的图像细节,人眼的敏感度较低,而对中高亮度背景中的图像细节则敏感度较高^[11].刘恒殊等^[12]对人眼的视觉特性进行了深入的探讨,根据人眼对亮度的分辨能力和灰度级与亮度的关系,得到了人眼对灰度的分辨能力曲线,并进行了实验.如图 3 所示,理论曲线和实验曲线基本一致.从图 3 中可看出,在 51~175 的灰度级区域内,人眼能分辨出灰度级差异小于 2 的图像,因此人眼对此灰度级范围内的图像具有较强的分辨能力,此灰度级范围为人眼的强分辨能力范围。

3 实验与结果分析

由于数字化图像采用 12 位数据存储,而普通显

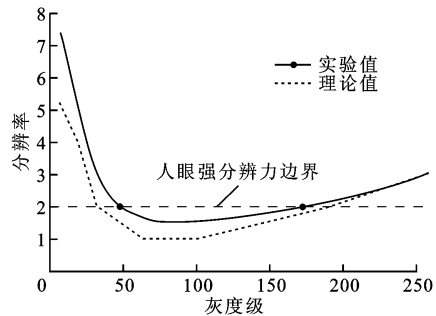


图 3 人眼对灰度的分辨率

示器只能显示 8 位数据,因此本文对原图像进行增强处理后,又转化为 8 位图像进行显示分析.对一幅采用 20%光源光强度的数字化图像进行测试,该图像曝光强度适度,灰度级差为 145,平均灰度级为 35,但却因为灰度级较低、对比度较小而造成人眼无法分辨图像的细节信息,如图 4 所示。

选择线性变换、直方图均衡法和本文算法进行比较,其中线性变换的灰度级映射变换函数为

$$G' = 5.4G \tag{8}$$

本文算法的灰度级映射变换函数为

$$G' = 1\ 008.2 \lg\left(\frac{G}{8\ 003}\right) + 4\ 770.5 \tag{9}$$

为了更好地说明本文算法的性能,实验采用图像平均灰度级、图像灰度级差、有无丢失信息作为评价指标,评价指标的实验值如表 3 所示。

表 3 3 种方法的评价指标值

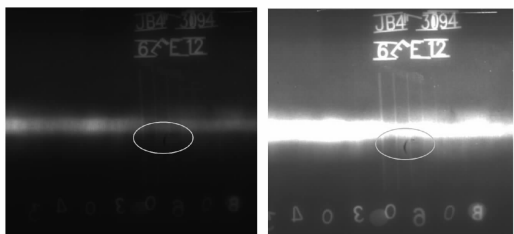
方 法	丢失信息	灰度级差	平均灰度级
线性变换法	有	196	145
直方图均衡法	无	255	50
本文算法	无	157	120

在工业射线检测数字化图像处理中,为了给评片人员或视觉系统提供高质量的图像,应该保证处理后的图像不能产生信息丢失,提高处理后的图像灰度极值差,即提高图像的对比度,将处理后的图像平均灰度分布在人眼视觉的强分辨能力范围内,使得图像符合人眼视觉特性。

从表 3 可以看出,线性变换后的图像出现了信息丢失,如图 4b 所示的焊缝亮白区域.采用直方图均衡法和本文算法均可以避免信息丢失,这 3 种处理方法均提高了灰度极值差,增强了图像的对比度.其中,直方图均衡法将对比度提高了 110,线性变换法提高了 51,本文算法提高了 12.同时,这 3 种方法

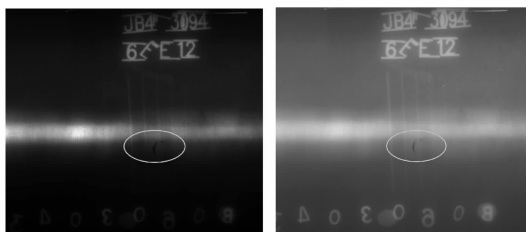
还提高了图像的平均灰度,其中线性变换法提高了 110,本文算法提高了 85,直方图均衡法提高了 15,但本文算法将平均灰度级提高到 120,属于人眼对灰度的强分辨能力范围,而由线性变换法和直方图均衡法得到的实验值则不在此范围内。综合上面的分析,经本文算法处理后的图像平均灰度级属于人眼的强分辨能力范围,不产生信息丢失,具有一定的对比度增强能力。

从图 4 的观察效果来看,本文算法处理的结果呈现的文字信息清晰可见,而且椭圆标记处的缺陷容易辨识。因此,本文算法不仅将原图像中人眼无法辨识的细节信息显示出来了,而且具有较好的视觉效果。



(a)原图

(b)线性变换



(c)直方图均衡法

(d)本文算法

图4 原图及3种方法的图像处理结果

4 结 论

本文从数字化系统成像特性和目标特性出发,得出了灰度映射变换函数,并进行了图像增强处理。对于人眼的视觉特性,通过实验分析表明,本文算法在没有信息丢失的情况下,增强了图像的对比度,并且处理后的图像灰度级平均值属于人眼对灰度分辨力较强的范围。从观察效果来看,处理后的图像将原图像中人眼无法辨识的细节显示了出来。由于人眼对这种中高灰度级图像细节的敏感度较高,因此该图像具有较好的视觉效果。

本文算法还可以较好地改善图像质量,与线性变换法和直方图均衡法相比,可将平均灰度级提高到 120,因此具有一定的优势。将本文算法应用到本

文研究的设备系统中,对 D 在 0.5~4.0 范围的射线胶片数字化图像具有良好的效果。

参考文献:

- [1] SHEN Qingming, GAO Jianmin, LI Cheng. Adaptive segmentation of weld defects based on flooding [J]. Insight-Non-Destructive Testing and Condition Monitoring, 2009, 51(10):541-547.
- [2] 申清明, 高建民, 李成. 焊缝缺陷的水淹没分割算法 [J]. 西安交通大学学报, 2010, 44(3): 90-94. SHEN Qingming, GAO Jianmin, LI Cheng. Segmentation of weld defects based on water-flooding principle [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2010, 44(3):90-94.
- [3] CHANG D C, WU W R. Image contrast enhancement based on a histogram transformation of local standard deviation [J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 1998, 17(4):518-531.
- [4] 付丽琴, 韩焱, 桂志国. 射线图像的对比度增强方法 [J]. 无损检测, 2005, 27(9):485-486. FU Liqin, HAN Yan, GUI Zhiguo. Contrast enhancement algorithms for radiographic images [J]. Nondestructive Testing, 2005, 27(9):485-486.
- [5] 张敏, 牟钊沁. 一种多尺度 X 射线胸片图像增强算法 [J]. 西安交通大学学报, 2010, 44(6):83-87. ZHANG Min, MOU Xuanqin. Nonlinear multi-scale contrast enhancement for X-ray chest radiography [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2010, 44(6): 83-87.
- [6] SHEN Qingming, GAO Jianmin, LI Cheng. Automatic classification of weld defects in radiographic images [J]. Insight-Non-Destructive Testing and Condition Monitoring, 2010, 52(3):134-139.
- [7] 申清明, 高建民, 李成. 焊缝缺陷类型识别方法的研究 [J]. 西安交通大学学报, 2010, 44(7):100-103. SHEN Qingming, GAO Jianmin, LI Cheng. Recognition of weld defect types [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2010, 44(7): 100-103.
- [8] DAMERA-VENKATA N, KITE T D, GEISLER W S, et al. Image quality assessment based on a degradation model [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(4):636-650.
- [9] WANG Z, BOVIK A C, SHEIKH H R, et al. Image quality assessment: from error measurement to structural similarity [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(4):600-612.
- [10] 欧阳诚苏, 袁军, 田军委, 等. 人眼视觉特性与粗糙集结合的 X 射线图像增强算法 [J]. 西安交通大学学

报, 2009, 43(6): 48-51.

OUYANG Chengsu, YUAN Jun, TIAN Junwei, et al. An enhancement method for X-ray image using rough sets and human visual system [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2009, 43(6): 48-51.

- [11] 黄贤武, 李家骅. 一种改进的基于人眼视觉特性的零树图像编码算法 [J]. 计算机研究与发展, 2001, 38(8): 977-981.

HUANG Xianwu, LI Jiahua. An enhanced image coding algorithm based on HVS and zerotrees [J]. Journal of Computer Research and Development, 2001, 38(8): 977-981.

- [12] 刘恒殊, 黄廉卿. 基于人眼视觉特性的医学图像处理方法 [J]. 光电工程, 2001, 28(4): 38-41.

LIU Hengshu, HUANG Lianqing. A medical image processing method based on human eye visual property [J]. Opto-Electronic Engineering, 2001, 28(4): 38-41.

[本刊相关文献链接]

仿生视觉的非均匀采样方法及其硬件设计. 2010, 44(6): 99-103.

人眼视觉特性与粗糙集结合的 X 射线图像增强算法. 2009, 43(6): 48-51.

一种医学 X 射线图像动态范围扩展方法. 2008, 42(12): 1468-1471.

一种双约束稀疏模型图像修复算法. 2012, 46(2): 6-10.

一种重要区域重采样的人脸检索方法. 2012, 46(2): 119-123.

热光源谱域光学相干层析成像系统. 2011, 45(11): 63-67.

采用局部差分模型描述的彩色图像配准技术. 2011, 45(10): 30-37.

用于图像分割的局部区域能量最小化算法. 2011, 45(8): 7-12.

线结构光多传感器三维测量系统误差校正方法. 2011, 45(6): 75-80.

一种胸部 X 射线摄影图像中结节检测的多尺度匹配滤波器. 2011, 45(4): 30-35.

一种新的浮选泡沫图像识别方法. 2011, 45(4): 104-108.

彩色图像分割中基于图上半监督学习算法研究. 2011, 45(2): 11-14.

一种采用矩阵分解的正交 4 抽头多小波无损压缩算法. 2011, 45(2): 54-58.

一种准线性光束平差方法. 2010, 44(12): 1-4.

大变形测量数字图像的种子点匹配方法. 2010, 44(11): 51-55.

(编辑 管咏梅)