

工业射线视频成像的噪声抑制方法

王 东^{1,2}, 丁克勤², 梁丽红², 韩 焱¹

(1. 中北大学 信息通信工程学院, 太原 030051; 2. 中国特种设备检测研究院, 北京 100013)

摘 要:介绍了 X 射线图像增强器视频成像系统的结构和性能, 分析了影响成像质量的因素。转换屏和 CCD 成像系统响应的不一致性是影响检测灵敏度的主要因素; 而由于量子起伏、散射等造成的随机噪声也严重影响了成像质量。文中先对系统的不一致性进行模型校正, 再针对随机噪声进行递归滤波降噪, 与单一方法的噪声抑制相比, 有效地提高了系统的成像质量。

关键词:射线检测; 图像增强器; 降噪; 不一致性校正; 递归滤波

中图分类号: TG115. 28

文献标识码: A

文章编号: 1000-6656(2009)01-0039-03

Video Denoising Method Research on Industrial X-Ray Imaging

WANG Dong^{1,2}, DING Ke-Qin², LIANG Li-Hong², HAN Yan¹

(1. Message Communication Engineering College, North University of China, Taiyuan 030051, China;

2. China Special Equipment Inspection and Research Institute, Beijing 100013, China)

Abstract: This article introduced the structure of an X-ray image intensifier video frequency imaging system and its performance, analyzed the influence factors on imaging quality. The non-uniformity of transformation screen and the CCD imaging system response was the primary factor to affect the examination sensitivity; The quantum fluctuation and the scattering-created stochastic noise also seriously influenced imaging quality. This article first used carries model of non-uniformity correction to the system, then applied the recursive filter noise reduction for the stochastic noise, resulting in an effective improvement on system's imaging quality as compared with the sole denoising method.

Keywords: Radiographic testing; Image intensifier; Denoising; Non-uniformity correction; Recursive filter

图像增强器与 CCD 构成的工业电视检测系统能实时在线显示被检件内部质量, 适于工件的快速动态检测。但由于系统的成像过程复杂, 易受到外界干扰, 加之微光像增强器的自身特点, 使系统的动态范围较小, 对比灵敏度较低, 噪声较高。

笔者分析了射线视频成像系统的噪声来源, 对比了抑制噪声的各种方法, 提出在校正系统不一致性的基础上, 再对随机噪声进行递归滤波的方法。

1 射线视频成像检测系统分析

1.1 射线视频成像过程

收稿日期: 2008-01-21

基金项目: “十一五”国家科技支撑课题(2006BAK02B01)

作者简介: 王 东(1982—), 男, 硕士研究生, 从事 X 射线成像系统与图像处理研究。

X 射线图像增强器是通过图像增强管将 X 射线转化为可见光, 然后经过 CCD 相机转化为视频信号输出。

输入的 X 射线经过转换屏后, 发生线性变换, 转变为光电子; 再经过电子光学系统聚焦和(MCP)电子倍增, 以高电子能轰击末端荧光屏; 最后经 CCD 转变为电视图像。即射线视频图像的产生经历了电子转换、电子倍增器增强和荧光屏光电转换三次线性变换。

1.2 影响成像质量的主要因素

1.2.1 系统不一致性因素影响

图像增强器成像过程中产生图像信息变换, 可以定义为 X 射线成像器件的输出亮度转换, 则:

$$C = \frac{L}{P_0} = \frac{8.63 \cdot 10^{12} \cdot t \cdot y_k \cdot G_m \cdot V_p \cdot y_p}{E} \quad (1)$$

式中 C ——X 射线增强器的亮度转换因子;

L ——屏输出亮度;

P_0 ——输入剂量率;

t ——输入窗 X 光透过率, %;

y_k ——X 射线光阴极量子效率, %;

G_m ——MCP 电子增益;

V_p ——荧光屏电压, V;

y_p ——荧光屏转换效率, lm/W;

E ——光子的能量。

由式(1)可以得到,图像增强器对 X 射线响应的是多次线性变换的过程。由于图像增强器中各个电子器件固有缺陷和不均衡性及面阵 CCD 芯片各个像元间的开启电压、感光有效面积以及光洁度等存在差异,造成了成像质量的不一致性^[3]。

1.2.2 随机噪声的影响

射线视频成像中由于光子涨落、光电转换过程中的量子噪声以及 CCD 的复位、视频信号量化等均会使系统产生不同程度的噪声。影响了图像的清晰度,造成图像信号变弱,信噪比降低,对比度变差。

2 射线视频噪声的处理方法

对探测器和 CCD 像元的不一致性所造成的视频图像固有噪声不能用多帧叠加处理来消除^[2],必须通过对系统的不一致性进行校正才能进行抑制。而对于随机噪声,可以采取低通滤波的方法进行抑制。

2.1 像元固有噪声的校正

对于增强器加 CCD 构成的工业电视检测系统,线性成像过程可以简化为^[3]

$$G(x, y) = a(x, y) \cdot G'(x, y) + b(x, y) \quad (2)$$

式中 G ——像元点实际输出的灰度值;

G' ——校正后像元点的灰度值;

a, b ——校正因子。

由式(2)得,在固定管电压、改变管电流、获取多帧图像,取其均值得到同一电流下该帧图像的灰度值作为横坐标,以每个像元点的各个灰度值作为纵坐标,利用最小二乘法进行直线拟合,即可得到每个像元的校正因子 a, b 。

由以上求的每个像素点的校正因子即可对实际图像中每个像元进行线性校正:

$$G'(x, y) = \frac{G(x, y) - b(x, y)}{a(x, y)} \quad (3)$$

2.2 随机噪声的抑制

针对随机噪声的特性,可以在空间域和频率域

采用不同的处理方法。在空间域,由于随机噪声的非相关性和目标信号的相关性,进行像素级的空域平滑算法,如中值滤波;也可以进行帧间的叠加运算。在频域内,采用低通滤波方法,滤掉高频脉冲噪声。但无论哪种方法,都要平衡噪声的抑制与图像细节的保护,即突出感兴趣信息,尽量减弱图像细节的损失。文中笔者尝试对射线视频图像进行递归滤波降噪^[4]。

由于视频采集图像的帧频是 25 帧/s,属于低速率采集,加之检测系统运动相对缓慢,两帧之间的相关性很高,利用图像信号的帧间相关性和噪声的非相关性,经过一定时间的延迟积分后,图像的信噪比会以平方根的倍数得到显著的提高。因此,在保证被探测目标是静态或者缓慢运动情况下,可以利用相邻帧图像之间的相关性进行递归滤波降噪。

时域内递归滤波的数学表达式为:

$$I_2' = I_2 + K(I_1' - I_2) \quad (4)$$

式中 I_2' ——当前帧校正后;

K ——系数;

I_1' ——前帧校正后;

I_2 ——当前帧未校正。

信号变换如图 1。

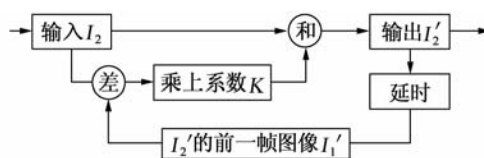


图 1 时域递归滤波原理图

3 试验结果

成像条件:120 kV 电压下,分别取 1.6, 1.8 和 2.0 mA 三个电流值做校正模型试验,获取了校正前后射线图像,选取同水平上各像元的灰度值为参照,得到结果见图 2。

(1) 对比增强器采集的空屏图像加以校正前后的两幅图像在水平方向的灰度值曲线(图 2a, b),可见校正后同一水平响应相对平稳,中心与两边像元受照响应更趋一致,说明校正后空屏图像背景较均匀;但由于随机噪声的影响,图 2b 中噪声的起伏仍然十分强烈。

(2) 图 2c 为对系统校正后又进行了滤波降噪处理。这时像元点的响应基本趋于一致,随机噪声得到很好的抑制,这时空屏图像的背景更加均匀。

对比校正滤波后的图 4 与原始图像图 3 可以看

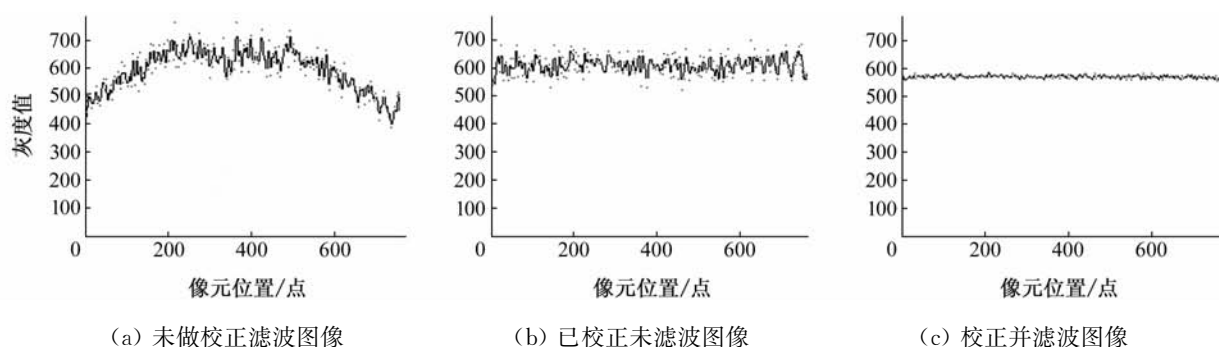


图2 同水平上各像元的灰度值

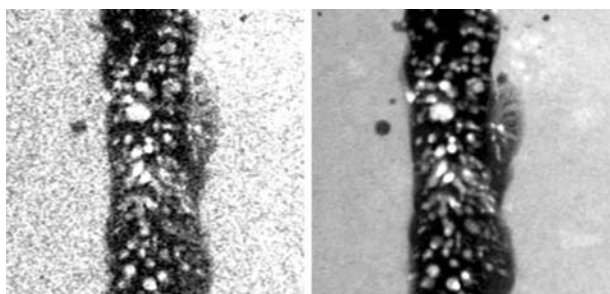


图3 原始图像

图4 经过校正并滤波后的图像

到,图4背景均匀且清晰,像元响应基本一致;其随机噪声的影响也得到很好的抑制,图像质量得到了较好的改善。

4 结论

由以上试验可见,对射线视频图像进行单一的

(上接第16页)

表1 表面下不同深度缺陷位置交叉点时间值 μs

深度/mm	方形缺陷	圆形缺陷
6	311	308
5	273	275
4	255	257

从上可见,当腐蚀深度相同时,位置交叉点的时间值基本保持不变。当腐蚀深度不同时,位置交叉点的时间值随着深度增加而增大,且变化规律不受缺陷形状影响。因此,通过提取位置交叉点的时间值就可以实现对腐蚀缺陷深度的定量检测。

4 结论

针对脉冲涡流检测中信号变化复杂,传统的过零时间和峰值这两个特征量难以提取的问题,提出了一种用于腐蚀缺陷深度定量的新特征量——位置交叉点。该特征量稳定可靠,不受腐蚀缺陷形状影

校正或者只进行随机噪声的抑制都无法很好地提高检测图像的质量。只有在一定成像条件下,对所有像元点在该成像条件下进行一致性校正,且再进行随机噪声的抑制,才能获取背景更均匀,清晰度更高的射线图像。

参考文献:

- [1] 向世明,倪国强. 光电子成像器件原理[M]. 北京:国防工业出版社,1999.
- [2] 陈树越,路宏年. X射线数字城乡噪声特性及噪声消除方法研究[J]. 无损检测,2001,(23):9-11.
- [3] 李俊江,路宏年,李保磊. X射线图像增强器像元响应不一致性的分析及校正[J]. 光学技术,2006,(5):779.
- [4] 冯 鹏,魏 彪. 基于时域递归滤波的动态数字图像降噪[J]. 重庆大学学报(自然科学版),2005,(2):23.

响,也不受扫描时出现的振荡波形的干扰,缩短了信号处理时间,提高了检测精度。最后,通过提取平板表面下缺陷位置交叉点的时间值,实现了对腐蚀缺陷深度的定量检测。试验结果证明了这一新特征量的正确性和有效性。

参考文献:

- [1] Smith R A, Hugo G R. Transient eddy current NDE for ageing aircraft-capabilities and limitations[J]. In-sight,2001,43(1):14-251.
- [2] 杨宾峰,罗飞路,曹雄恒,等. 飞机结构腐蚀检测中的脉冲涡流无损检测技术[J]. 测试技术学报,2005, 19(1):27-29.
- [3] 杨宾峰,罗飞路,曹雄恒,等. 脉冲涡流腐蚀成像阵列传感器应用研究[J]. 传感技术学报,2005,18(1):112.
- [4] Ali Sophian, Gui Yun Tian, David Taylor, et al. A feature extraction technique based on principle component analysis for pulsed eddy current NDT[J]. NDT & E International,2003,36(1):37-41.