X 射线平板探测器数字成像及其图像校准

周正干 滕升华 江 巍 安振刚
(北京航空航天大学 机械工程及自动化学院, 北京 100083)

摘 要: 为了提高 X 射线数字成像系统的图像质量,以基于平板探测器的 X 射线数字照相系统为研究对象,介绍了平板探测器自身影响图像质量的 4 大因素:随机噪声,偏置误差,像元响应不一致性和瑕疵像元等,分析了这些因素的成因及其对图像质量的影响,提出了相应的减小和消除这些影响的图像校准方法. 实验结果表明:运用这些图像校准方法,可以有效地去除上述因素对图像质量的影响,显著提高平板探测器输出图像的质量,为后续图像判读奠定了良好的基础.

关 键 词: 无损检验; 图像处理; 图像校准; 平板探测器
中图分类号: TH 878.1
文献标识码: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2004)08-0698-04

X-ray flat-panel-detector-based digital radiography and its image calibration

Zhou Zhenggan Teng Shenghua Jiang Wei An Zhengang
(School of Mechanical Engineering and Automation, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: To improve imaging quality of X-ray digital radiography system, an X-ray flat-panel-detector-based digital radiography system was investigated. Four factors of flat panel detector which degrade image quality, such as random noise, offset, response nonuniformity and defective pixels, were introduced. How they occur and influence imaging quality was analyzed. Corresponding methods for image calibration were put forward to minish and eliminate the influences on image quality. Experimental results indicate that, with the image calibration methods, the influences of above mentioned factors can be removed effectively and the quality of image from flat panel detector can be improved greatly, which has founded a good foundation for succedent image identifying.

Key words: non-destructive tests; image processing; image calibration; flat panel detector

射线检测是常规无损检测的重要方法之一,广泛应用于航空、航天、核电、国防以及其它工业部门,在工业生产和国民经济中发挥了重要作用[1]. 目前,在生产实际中,射线检测普遍使用胶片照相法. X 射线胶片照相的成像质量较高,能正确提供被测试件缺陷真实情况的可靠信息,但是,它具有操作过程复杂、运行成本高、结果不易保存且查询携带不便以及评片人员眼睛易受强光损伤等缺点.

为了解决上述问题,20 世纪 90 年代末出现了 X 射线数字照相(Digital Radiography, DR)检测技术. X 射线数字照相系统中使用了平板探测器(flat panel detector),其像元尺寸可小于 0.1 mm,因而其成像质量及分辨率几乎可与胶片照相媲美,同时还克服了胶片照相中表现出来的缺点,也为图像的计算机处理提供了方便[2]. 因此,基于平板探测器的 X 射线数字成像系统在无损检测和评价(NDT/NDE)、集装箱扫描、电路板检查以及医疗应用等方面具有广阔的应用前景[3].

1 平板探测器的组成及工作原理

X 射线平板探测器由射线接收器、命令处理器和电源组成. 射线接收器中包含有闪烁晶体屏

收稿日期: 2003-04-18
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50275008)
作者简介: 周正干(1967-),男,湖南湘潭人,教授, zzhenggan@buaa.edu.cn.

(如 Gd_2O_2S 或 CsI)、大面积非晶硅传感器阵列以及读出电路等,其结构示意图如图 1 所示. 其中,闪烁晶体屏用来将 X 射线光子转换成可见光,与其紧贴的大规模集成非晶硅传感器阵列将屏上的可见光转换成电子,然后由读出电路将其数字化,传送到计算机中形成可显示的数字图像. 命令处理器是接收器和用户系统之间的接口. 由该种平板探测器组成的 X 射线数字成像系统结构如图 2 所示.

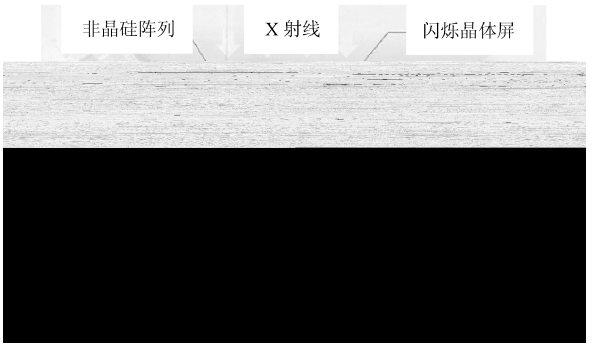


图 1　接收器内部结构示意图

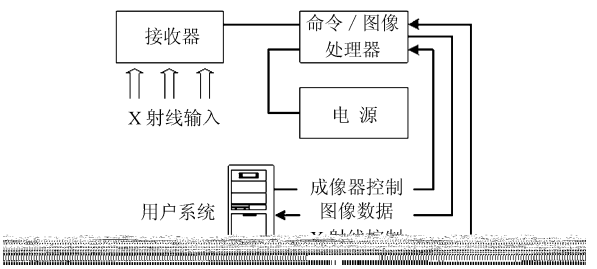
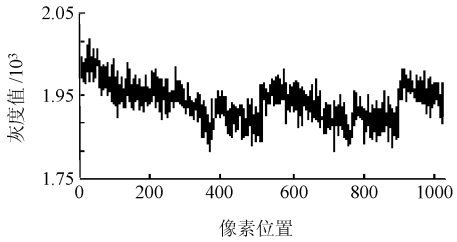


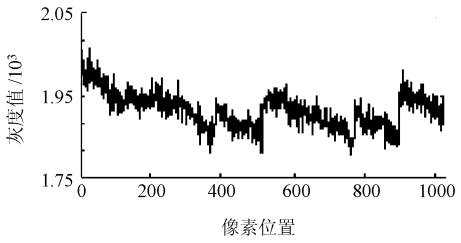
图 2　平板探测器成像系统结构示意图

2　平板探测器图像校准的必要性

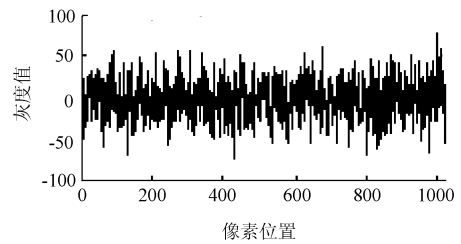
尽管平板探测器具备前述一些优良特性,但是,X 射线源的不同、接收器内电子线路的不一致性及其正常变化,都会引起平板探测器上不同像元在同样 X 射线剂量辐射的情况下具有不同的



a 单幅图像某行的一段灰度曲线

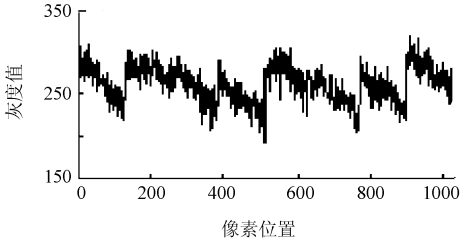


b 16 幅图像叠加平均后与 a 图同位置的灰度曲线

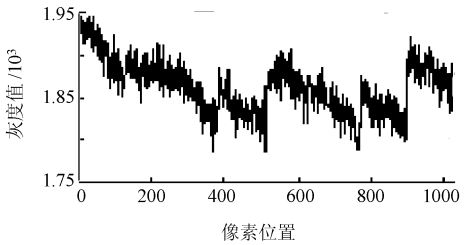


c a 图减去 b 图的结果

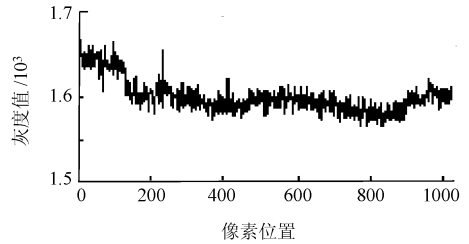
图 3 随机噪声及其消除



a 暗场图像某行的一段灰度曲线



b 均匀射线辐射下与 a 图同位置的图像灰度曲线



c b 图减去 a 图的结果

图 4 偏置误差及其消除

当的效果.

3.2 偏置误差的修正

在没有 X 射线辐射探测器的情况下采集一幅图像,称之为暗场图像,它是探测器传感器阵列在无信号输入时的输出信号,包含了偏置误差的全部信息. 偏置误差修正过程如图 4 所示. 从图 4a 可见,不同像元的偏置误差相差很大,且毫无规律可言. 图 4c 代表了偏置误差被修正后的结果. 图 4c 的图像质量较图 4b 有了显著提高,灰度标准差由 30.74 降到 18.88.

3.3 像元响应不一致性校正

由图 4c 可见,经过偏置误差修正,该行的灰度曲线仍有较大的起伏,而且呈明显的分段特性,即该行可以分为灰度相差较大的几段,而整幅图像的灰度分布则呈现规则的柱状,如图 5 所示. 这表明,还有严重影响图像质量的因素有待校正,这就是像元响应不一致性.

为了对响应不一致性进行校正,首先需要掌握各点的响应特性,这就需要采集并分析校准图像. 在实际工作中,分别在 3 种不同射线辐射状态下采集校准图像:①在没有 X 射线辐射探测器的



图 5 偏置误差校正后图像灰度拉伸效果

情况下获取一幅图像,前已提及,称为暗场图像;②在能使各像元和电子线路饱和的均匀 X 射线照射探测器的情况下获取一幅图像,称为亮场图像;③在亮场图像所用剂量 70% 左右的 X 射线均匀照射下采集一幅图像,称为中亮场图像. 在采集校准图像时,为消除随机噪声的影响,一般应该采取多幅叠加取平均的方式.

由前面对偏置误差的分析可知,这里的暗场图像实际上就代表了偏置误差. 若用中亮场图像与暗场图像相减,得到的差值就是各像元在中亮场射线强度下的响应. 同理,由于各种射线条件下得到的图像都包含了暗场图像所代表的偏置误差成分,所以任意两幅图像相减的结果,就是二者对应射线剂量的差值在各像元的实际响应. 这样,利用 3 幅校正图像,对于每一像元,都可得到一条灰

度值随射线强度变化的响应曲线,也就可获得图像校正值随原始灰度值的变化曲线.

图 6 为某点的灰度校正曲线,其中,横坐标表示原始灰度值 P,纵坐标对应校正输出 Q. P_d,P_m,P_l 分别代表该像元在暗场、中亮场和亮场图像中的对应灰度值. 暗场图像像元灰度值的校正输出 Q_d 对应灰度 0,亮场图像像元灰度值的校正输出则可以根据实际需要确定为某一恒定值,如像元灰度为 12 bit,则 Q_l 取 4 095. 中亮场的校正值 Q_m 可以根据暗场和亮场的对应值,结合射线强度差求得,或根据 3 幅图像的灰度均值用下式近似得到:

$$Q_m = \frac{P_{mm} - P_{dm}}{P_{lm} - P_{dm}} \times Q_l \qquad (1)$$

式中　P_{dm},P_{mm},P_{lm}分别是暗场、中亮场和亮场图像的灰度平均值.

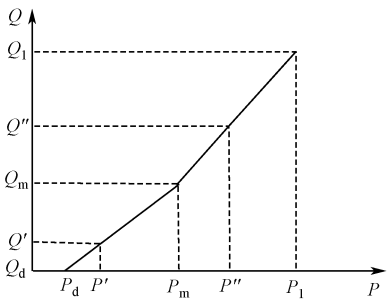


图 6　某像元的灰度校正曲线

对于任意一幅需要校正的图像,校正值根据 P 值与中、亮场灰度的对比关系,对应图 6 中分段线性校正曲线的上半段或下半段. 实际利用下式计算:

$$Q = \begin{cases} \dfrac{P - P_d}{P_m - P_d} \times Q_m & P < P_m \\ \dfrac{P - P_m}{P_l - P_m} \times (Q_l - Q_m) + Q_m & P > P_m \end{cases} \qquad (2)$$

图 7 是图 5 对应原始图像经过不一致性校正后的结果,区域灰度标准差由 39. 29 降为 27. 06,降低了 31. 1%.


图 7　经像元相应不一致性校正后的图像

3. 4　瑕疵像元校正

仔细观察图 7,可以发现其中存在一些灰度值奇异点,这是受到前述瑕疵像元影响的结果. 为对瑕疵像元进行具体界定,根据实验结果设定了一个灰度区间,若某像元 P_l 与 P_d 的差值落在该区间之外,则判定该像元为瑕疵像元.

对瑕疵像元的校正采用邻域选择性平均法,即瑕疵像元的校正输出取其邻域中正常像元的灰度平均值;除非位于传感器阵列的边缘,每个像元有 8 个相邻像元. 如果瑕疵像元的相邻像元中有 3 个以上是正常的,则相邻正常像元的灰度平均值可作为该瑕疵像元的灰度值;若相邻像元中正常的像元少于 3 个,则该瑕疵像元不能被校正,否则,图像有可能失真.

综合运用上述各种校正方法,对某均匀射线照射图像进行校准,校准之后的图像灰度分布趋于平坦化,灰度标准差由 39. 29 降到了 19. 24,降幅高达 51. 0%.

4　结　论

由于受到随机噪声、偏置误差、像元相应不一致性和瑕疵像元等各种图像降质因素的影响,从平板探测器采集的原始图像一般不能满足实际检测工作的要求. 在全面分析各种图像降质因素的成因及特性的基础上,本文介绍了平板探测器数字图像校准的方法. 利用本文介绍的图像校准方法,可显著改善平板探测器的图像质量,为后续的图像判读,以及其缺陷识别等工作奠定了良好的基础.

参考文献 (**References**)

[1] 刘德镇. 现代射线检测技术[M]. 北京:中国标准出版社, 1999. 240 ~ 251
Liu Dezhen. Modern radiology techniques[M]. Beijing: China Standard Press, 1999. 240 ~ 251(in Chinese)

[2] 曹厚德. 数字化 X 射线影像技术的发展[J]. 感光材料, 1999,(1):31 ~ 34
Cao Houde. Development of digital radiography[J]. Sensitive Material, 1999, (1):31 ~ 34(in Chinese)

[3] Reiff K J. Flat panel detectors-closing the (digital) gap in chest and skeletal radiology[J]. European Journal of Radiology, 1999,31:125 ~ 131

[4] 陈树越,路宏年. X 射线数字成像噪声特性及噪声消除方法研究[J]. 无损检测,2001,23(1):9 ~ 14
Chen Shuyue, Lu Hongnian. Research on noise characteristics and noise depression in X-ray digital radiographic system[J]. Nondestructive Testing, 2001, 23(1):9 ~ 14(in Chinese)