

· 光学设计 ·

基于FPD的轻小型数字X光成像系统

张旭, 孙秀斌

(北京市公安局警卫局, 北京 100006)

摘要: 针对反恐排爆领域中对静止遗留物(如行李箱)内部的透视成像, 阐述了一种基于FPD的轻小型数字X光成像系统。该系统采用平板探测器和点状锥形光源相结合的硬件设计方式, 减小了系统的体积和质量, 直接数字化输出, 提高了产品集成度; 通过图像非均匀性校正和降噪滤波增强算法设计, 提高了图像的清晰度和可视化效果。经过测试和实验, 系统工作稳定、性能良好, 可广泛应用于反恐排爆领域。

关键词: FPD(平板探测器); X光; 成像系统

中图分类号: TN144; TN29; TN453

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2016)0-04-0006-05

Light Small Digital X-ray Optical Imaging System Based on FPD

ZHANG Xu, SUN Xiu-bin

(Guard Bureau of Beijing Municipal Public Security Bureau, Beijing 100006, China)

Abstract: A light small digital X-ray optical imaging system based on the FPD (flat panel detector) is expounded for EOD (explosive ordnance disposal) field of static remnants (such as inside the suitcase) perspective imaging. The hardware of flat panel detector and point cone light source is designed in combination type to reduce the volume and weight of the system. Also, the images are output in direct digital way and the product integration is improved apparently. Through the image de-noising and filtering enhancement algorithm design, the clarity of the image and visual effect are improved. In the test and experiments, the system shows stable work and good performance. It can be widely used in the field of EOD field.

Key words: FPD (flat panel detector); X-ray; imaging system

20世纪末, 平板探测器(flat panel detector, FPD)的研制成功, 诞生了一种新的放射影像成像技术——数字X线摄影(digital radiography, DR)^[1-2]。目前DR技术日趋成熟, 已广泛应用于医疗透视、工业无损检测、汽车应用等领域^[3-5]。近年来, 随着国际恐怖主义势力抬头, 防爆安检形势日趋严峻, 特别是在敏感地点对行李箱等封闭或半封闭空间遗留物检测^[6-7]。传统的安检方法是将行李箱等物品放在安检机皮带上进行移动式扫描检测。该方法虽然简单易行、技术成熟, 但需要移动物体, 极易触发爆炸物引信, 给公共安

全造成严重危害^[8-9]。因此, 目前亟待解决对遗留物的静态透视成像检测问题, 实现对遗留物的现场实时便携式检测。

针对上述问题, 提出一种基于FPD的轻小型数字X光成像系统。该系统基于平板探测器成像模式, 可解决物体的静态透视成像问题, 且设备体积小、质量轻, 满足便携式携带要求, 实现非接触式物体的透视成像检测。该系统原型机目前已在防爆安检等领域进行了多次现场实时检测, 成像清晰, 性能稳定可靠。

收稿日期: 2016-08-01

基金项目: 公安智能监控开放基金(J101230K3047)

作者简介: 张旭(1980-), 男, 本科, 助理工程师, 北京人, 主要从事防爆安检方面的研究。

1 系统设计

1.1 系统架构

基于FPD的轻小型数字X光成像系统主要由平板探测器单元、X光发射单元和终端控制单元组成,系统组成如图1所示。



图1 系统组成示意图

X光发射单元为主动照射光源,发出锥形X光对物体进行透视。在X光照射下,X射线平板探测器的闪烁体或荧光体层将X射线光子转换为可见光,而后由具有光电二极管作用的非晶硅阵列变为图像电信号,通过外围电路检出及A/D变换,从而获得数字化图像。终端控制单元接收探测器单元的数字图像信号,对该图像进行处理和检测,并对发射单元射线剂量大小进行数控调节。

1.2 硬件设计

系统硬件设计包括平板探测器单元和X光发射单元的设计。

1.2.1 平板探测器单元

平板探测器由感光阵列(碘化铯闪烁体层和非晶硅光电二极管阵列)、行驱动电路、图像信号读取电路和时序信号发生器构成^[10],其物理结构和逻辑结构如图2所示。位于探测器顶层的碘化铯闪烁晶体将入射的X射线透视图像转换为可见光图像。位于闪烁层下的硅光电二极管阵列将可见光图像转换为电荷图像,每个像素电荷量的变化与入射X

射线的剂量成正比;同时该阵列将空间上连续的X射线透视图像转换为一定数量的行和列构成的点阵式图像,其中点阵的密度决定了图像的空间分辨率。在时序信号发生器的统一控制下,居于行方向的行驱动电路与居于列方向的读取电路将电荷信号逐行取出,转换为串行脉冲序列并量化为数字信号;获取的数字信号经通信接口电路传送至图像处理器,从而形成X射线数字图像。

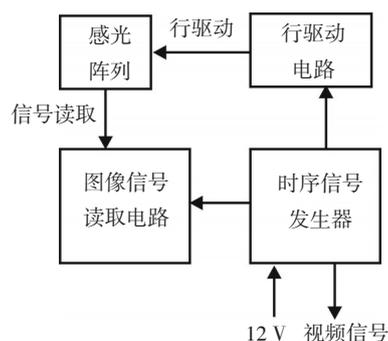
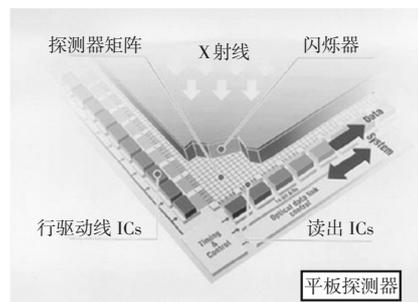


图2 平板探测器结构示意图

设计的平板探测器主要性能参数如表1所示。

表1 平板探测器性能参数

像素大小	400 μm	面阵分辨率	1 024×1 024
平板有效区大小	409.6 mm×409.6 mm	帧频	5
数据位宽	16 bit	闪烁晶体	CsI
供电电压	12 V, 10 W	质量	3 kg

1.2.2 X光发射单元

X射线发射单元由X射线管、高频高压发生器和控制器组成^[11],如图3所示。

X射线管是产生X射线的线源设备,由真空玻璃内的阳极和阴极组成。对阴极端的钨制灯丝通以低电压,灯丝被加热发射自由电子,当X管两端被加高压后,自由电子被加速并轰击钨靶产生X射

线,经发射窗输出后形成锥形光束。

高频高压发生器对主电压进行整流、滤波后反馈至逆变器,直流电压经过逆变器变成高频交流电压,再进入高压变压器后通过进一步整流和滤波形成连续高压,如图4所示。

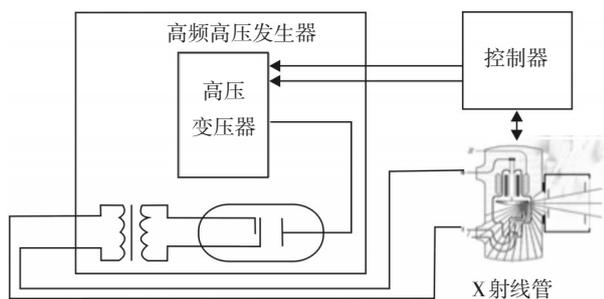


图3 X射线发射单元组成图

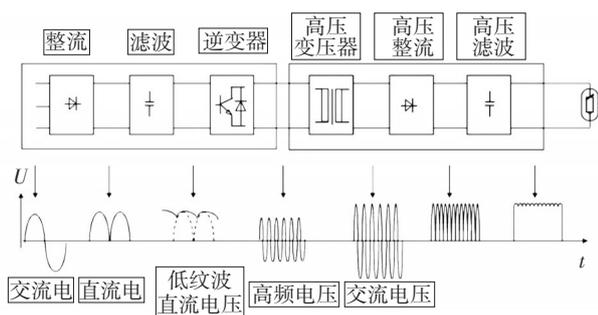


图4 高频高压发生器信号转换原理图

控制器对高频高压发生器的电压和电流进行取样,通过闭环负反馈实时控制X射线管的功率输出。设计的X光发射单元主要性能参数如表2所示。

表2 X光发射单元性能参数

管电压	15~30 kV	束散角	60°×60°
管电流	0.1~0.4 mA	电源输入	AC220 V/50 Hz
焦点尺寸	0.8 mm	工作方式	连续工作
供电电压	12 V, 10 W	冷却方式	密封油冷

1.3 软件设计

系统软件设计包括终端控制单元设计,具体包括探测器图像非均匀性校正算法设计和图像降噪增强算法设计。

1.3.1 图像非均匀性校正算法

系统采用的平板探测器为间接型成像探测器,

影响其成像均匀性的主要有三个因素。首先,在线性曝光剂量范围内,探测器单个像元的X射线间接响应近似为线性的,但不同像元的X射线响应系数并不完全一致,从而导致图像不均匀;其次,行驱动电路,读取放大器、A/D转换器等外围电路的不一致导致图像不均匀;最后,入射X射线本身固有的空间分布不均匀性导致图像不均匀。这几类非均匀性尽管在图像上的表现不同,但都属系统性的不均匀,在一定的限度内可以通过软件处理来加以校正。其中读出电路自身非均匀性对整个图像的影响较小,可暂不考虑;像元间的非均匀性如坏点等在出厂前厂家已进行坏点校正,因此重点考虑X射线本身固有的空间分布不均匀性导致的图像非均匀性。

X射线为点状光源,呈60°光锥能量分布,因此会造成能量中间强,周边弱,在图像上出现亮暗分布不均匀。对平板探测器横向像元线阵进行测试,如图5所示。从中可以看出,线阵越靠近焦点中心位置能量越大。

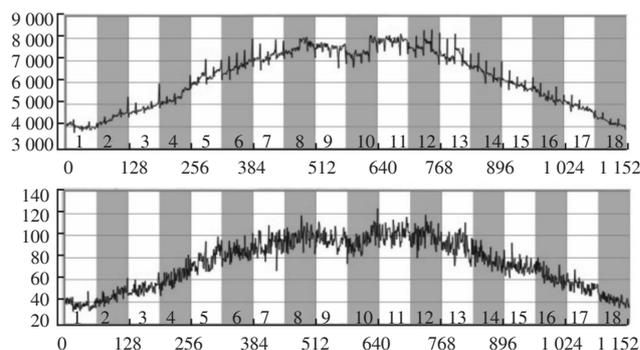


图5 原始信号的非均匀性

平板内各探测单元的响应度近似为线性关系,可采用单点校正方法来校正其相应的非均匀性。单点校正是在同一X光照射条件下,将各像元输出的信号 $\{y_i(\varphi)\}$ 校正为一致。按照线性关系进行校正时,校正方程可表述为

$$y_i'(\varphi) = G_i y_i(\varphi) \quad i=0, 1, \dots, n-1 \quad (1)$$

其中, $y_i(\varphi)$ 和 $y_i'(\varphi)$ 分别是校正前、后第 i 个像元中的输出信号; G_i 为第 i 个像元的校正系数。非均匀性校正过程分为标定和校正两步。首先测出在X光照射下各像元的输出响应 $\{y_i(\varphi)\}$,从而得出校正系数为

$$G_i = \frac{\overline{y_i(\varphi)}}{y_i(\varphi)} \quad (2)$$

其中, $\overline{y_i(\varphi)}$ 为各单元原始响应信号的平均值。将校正系数 $\{G_i\}$ 存入相应的存储单元, 从而完成了非均匀性标定; 其次, 将实际像元的响应信号与各自的校正系数相乘, 即完成非均匀性校正。校正前后的图像如图6所示。实验表明, 单点校正算法可达到较好的校正效果。

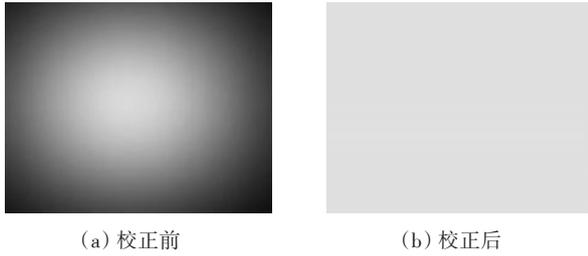


图6 非均匀性校正前后图像

1.3.2 图像降噪增强算法

系统应用于排爆领域, 属于静止成像, 针对X光平面探测器成像特性, 其噪声主要集中于随机噪声。一般随机噪声服从泊松分布, 由于光子数较多, 成像过程中, 光子的起伏较小。系统采用多帧平均法, 根据噪声空域随机性分布特点, 可有效压缩随机噪声, 增强目标信息。

若噪声是平均值为0的随机分布信号, 图像表达为

$$f(x, y) = S(x, y) + N(x, y) \quad (3)$$

其中, $S(x, y)$ 是无噪声图像; $N(x, y)$ 是图像的噪声; $f(x, y)$ 为叠加了噪声的图像。如果有 n 帧图像平均, 则可以有下式

$$\hat{f}(x, y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_i(x, y) \quad (4)$$

逼近无噪声原图像 $S(x, y)$

$$E\{\hat{f}(x, y)\} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E\{f_i(x, y)\} \quad (5)$$

$$\text{即 } E\{\hat{f}(x, y)\} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i(x, y) \quad (6)$$

$$\text{即 } E\{\hat{f}(x, y)\} = S(x, y) \quad (7)$$

估计误差为

$$\sigma_f^2 = E\{[\hat{f}(x, y) - S(x, y)]^2\} \quad (8)$$

$$\text{即 } \sigma_f^2 = E\{[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_i(x, y) - S(x, y)]^2\} \quad (9)$$

$$\text{即 } \sigma_f^2 = E\{[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_i(x, y)]^2\} \quad (10)$$

由于噪声 $N_i(x, y)$ 时域分布特性是不相关的、随机的, 且服从泊松分布, 因此噪声之间的相关系数 $C_{ij}=0$, 即

$$E[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_i(x, y)]^2 = \frac{1}{n} \sigma_N^2 \quad (11)$$

$$\text{即 } \sigma_f^2 = \frac{1}{n} \sigma_N^2 \quad (12)$$

由此可得, 当几帧静止图像累加平均后, 目标的无噪声原图像作重复性累加, 而随机噪声则作二次项累加。 N 帧图像累加后, 信号 $S(x, y)$ 放大了 N 倍, 而噪声 $N(x, y)$ 放大了 \sqrt{N} 倍, 信噪比提高了 \sqrt{N} 倍。图7是采用帧平均算法降噪前后的效果对比。

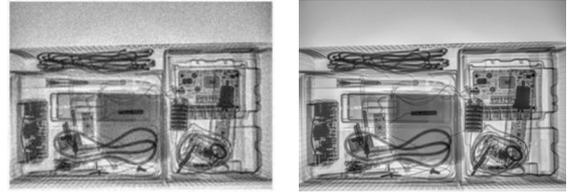


图7 多帧去噪前后效果

2 系统测试

系统经设计、加工、集成后, 对真实目标进行测试和实验验证。产品测试环境如下: 对一 $330 \text{ mm} \times 160 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ 的纸盒内部进行检测, 检测面为 $330 \text{ mm} \times 160 \text{ mm}$, 系统辐射角为 $60^\circ \times 60^\circ$, 光源距成像面 300 mm , 纸盒紧贴平板探测器, 以节省辐射剂量。系统实际工作效果如图8所示。



图8 系统实际效果图

实验表明, 系统设计正确、工作稳定, 可应用于实际的防爆安检领域。

3 结 论

阐述了基于FPD的轻小型数字X光成像系统,结合静态成像的实际需要,采用平板探测器作为成像器,可提高系统的集成度,大大减小体积和质量;采用锥形点光源可有效增大辐射面积,最大程度节约辐射剂量,利于系统的小型化。通过图像非均匀性校正算法和降噪增强算法,提高了图像的清晰度。系统设计后的体积为600 mm×600 mm×440 mm(含包装箱),质量10 kg,可实现便携式管理,可广泛应用于反恐防爆安检领域中对未知目标的防爆清晰检测。

参考文献

- [1] 孝大宇,蔡鹏飞,李宏,等. 基于阈值的平板探测器增益校正方法[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2014, 35(2): 208-211.
- [2] 肖永顺,陈志强,张丽,等. 基于数字平板探测器的高能X射线成像实验研究[J]. 光学技术, 2003, 29(6): 660-661.
- [3] 王远,许州,陈浩. 基于平板探测器的高能工业CT数据采集系统[J]. CT理论与应用研究, 2006, 15(3):53-56.
- [4] 陈光,丁克勤,梁丽红. 便携式DR与CR成像技术在焊缝检测中的应用[J]. 无损检测, 2009, 31(6):494-495.
- [5] 郭栋,王明泉. 基于PaxScan的实时成像系统开发与应用[J]. 电子技术应用, 2010(4):135-136.
- [6] 谢明刚. 浅析防爆安检装备在警卫工作中的应用[J]. 武警学院学报, 2015, 31(3):22-24.
- [7] 李福会,高瑞峰. 首都防爆安检装备发展现状[J]. 警察技术, 2007(4):47-50.
- [8] 冀晓宏. 民用机场安全检查设施现状与分析[J]. 中国民用航空, 2008, 94(10):60-66.
- [9] 孙丽娜,原培新. X射线安检设备智能控制与诊断系统设计[J]. 仪器仪表学报, 2007, 28(1):154-157.
- [10] 苗青,王高,李仰军. X射线成像探测器发展进展[J]. 传感器世界, 2015, 21(10):7-9.
- [11] 杨磊,李东仓,祁中. 数控高稳定X射线源的研制[J]. 核技术, 2008, 31(5): 388-391.

《光电技术应用》期刊简介

《光电技术应用》期刊是中国电子科技集团公司主管,中国电子科技集团公司光电研究院主办,公开发行的学术性中文科技期刊。以光电技术为主要专业特色,传播光电技术、光电系统应用技术专业领域的先进科技信息,报道新型科技成果,推动工程技术交流,促进行业科技进步与发展。

期刊已成为《中国核心期刊(遴选)数据库》收录期刊、《中文科技期刊数据库》收录期刊、《中国期刊全文数据库》全文收录期刊、《中国学术期刊综合评价数据库》统计源期刊、美国《乌利希期刊指南》收录期刊。期刊的影响因子连续几年上升,2015年入选《中国学术期刊影响因子年报》统计源期刊。

因主办单位搬迁,从即日起期刊编辑部通信地址变更为天津市空港经济区纬五道9号,邮编为300308。电话:022-59067938。投稿邮箱:aoe-cetc@vip.163.com。原邮箱nloe@vip.163.com继续使用至2016年12月31日。竭诚欢迎广大读者踊跃投稿。