

二维辐射成像中空间分辨率的研究

吴志芳 周立业 刘锡明 安继刚 刘以思

(清华大学核能技术设计研究院, 北京, 102201)

阐述了在二维辐射成像系统中不改变探测器物理尺寸而提高空间分辨率的方法。讨论了几何放大法、阵列探测器微位移法, 并提出了一种新的方法——扫描微分法。该方法应用在⁶⁰Co 集装箱检测系统中取得了良好效果。

关键词 辐射成像 空间分辨率 阵列探测器 扫描成像 扫描微分法
中图分类号 TL 99

辐射成像系统中, 探测器一般选用硅微条、晶体-光二极管阵列、气体室等粒子探测器, 分别适用于不同的应用领域。硅微条(SMD)位置分辨率可达 μm 量级^[1], 适用于精细结构的研究; 晶体-光二极管阵列位置分辨率可达 mm 量级, 适用于小型物体的成像; 而气体室结构灵活多样, 可制作成各种形状和大小, 位置分辨率可达 mm 量级^[2], 适用于各种成像系统, 尤其是对大型物体。

对小型物体, 可用SMD或光二极管组成二维阵列探测器一次成像, 可大大提高成像速度。但是对于大型辐射成像设备, 二维阵列探测器过于庞大, 增加了设备成本和制作难度, 线路复杂, 故障率高, 因此通常是在一个方向上采用线性阵列探测器一次成像, 而在另一个方向上扫描成像, 形成二维图像。即使采用一维线性阵列探测器, 如果被检测物体尺寸很大, 如集装箱, 最大可达 $12.5\text{ m} \times 2.5\text{ m} \times 2.5\text{ m}$, 也需要几千个探测单元, 设备还是过于复杂。为了进一步降低成本和电子线路的复杂性, 提高系统的可靠性, 一般选用气体室线性阵列, 单元尺寸可以放宽, 以减少阵列路数, 再采用其它方法提高系统的空间分辨率。

1 线性阵列方向上的空间分辨率

成像系统的空间分辨率通常是由阵列探测器每个探测单元的灵敏面积决定, 如 $5\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ 的探测单元, 其空间分辨率最高为 5 mm , 这是探测器的固有空间分辨率。但是成像方式不同, 或者通过特殊处理方法, 可以突破此限制, 获得更高的空间分辨率。

点源扇面形射线束成像系统示于图 1。

该系统对被检测物体有一定的几何放大作用, 几何放大倍数由像距与物距之比决定。对物

吴志芳: 男, 30岁, 核电子学与探测技术专业, 助理研究员, 硕士

收稿日期: 1998-05-18 收到修改稿日期: 1998-07-03

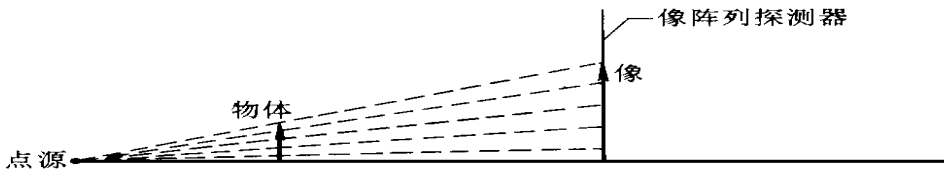


图1 扇形束成像示意图

Fig 1 Fan beam imaging diagram

体的几何放大等效于提高了系统在此方向上的空间分辨率(尽管探测器的固有分辨率没有改变)。

平行射线束成像系统示于图2。

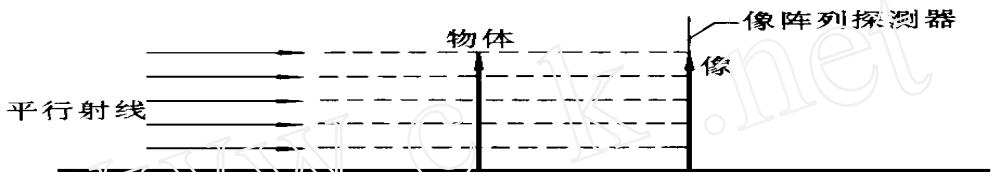


图2 平行束成像示意图

Fig 2 Parallel beam imaging diagram

该系统对物体没有几何放大作用,不能象扇形束一样,通过几何放大提高系统空间分辨率。但是可以采用一种探测器阵列微位移的方法^[3],提高系统在线性阵列方向上的空间分辨率。这种方法也能适用于扇形束成像系统。

然而,探测器阵列微位移法有很大的局限性:1)每获得1条线图像,需要进行多次阵列探测器步进和多次测量,成像速度成倍下降;2)对于大型辐射成像系统,探测器阵列及附属设备比较庞大,连线复杂,实现步进式微位移比较困难;3)对线性阵列各个探测单元及其对应的处理电路的一致性要求很高,因为该方法涉及到用不同的探测单元测量物体相同部分对应的物理量,它们的结果必须有可比性。

通常情况下,减小探测单元尺寸或者利用几何放大作用可提高系统在线性阵列方向上的空间分辨率。但这种办法不能用在扫描方向上。

2 扫描移动方向上的空间分辨率

在扫描成像系统中,被检测物体匀速地通过射线束检测面,一次采集一列图像,一列接一列,依次获取数据,形成二维图像。在这种成像系统中,图像的高度(以像素表示)一般由线性阵列的探测单元数决定,而图像的宽度则没有明确的限制,它与物体移动速度和数据线采集周期有关。

物体移动速度越快或数据线采集周期越短,扫描移动方向上单位长度物体在图像上对应的像素越多,图像越宽。但是,这并不说明系统在扫描移动方向上的空间分辨率提高了。在几

何结构一定的情况下,系统在此方向上的固有空间分辨率是一定的,由探测单元或准直器狭缝的物理尺寸决定。

设物体移动速度为 v , 数据线采集周期为 T , 则在采集 1 条线后, 物质移动的距离 s 为:

$$s = vT$$

当 s 小于扫描移动方向上阵列探测器单元或准直器狭缝的尺寸时, 相邻两条线采集的数据就会产生一定的相关性, 不能真实代表对应处的物理量大小, 反映在图像上就是产生一定的模糊。因此在扫描成像系统中, 扫描方向上单位长度物体在图像上对应的像素增多, 并不一定能反映更好的空间分辨率。

扫描微分法(图 3)在这种情况下能够提高系统的空间分辨率。

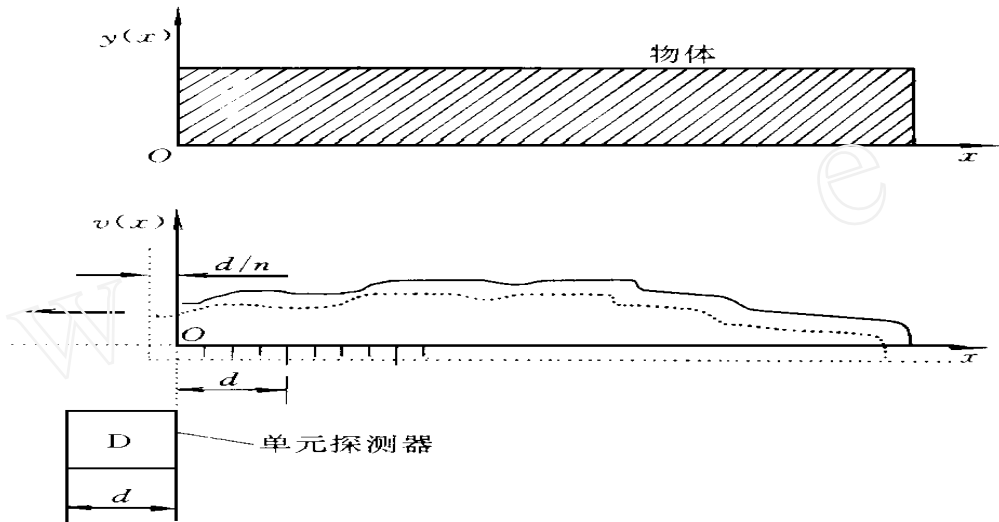


图 3 扫描微分法示意图

Fig 3 Diagram of scanning differential method

根据前面分析, 当线采集速度提高到一定程度后, 相邻列图像就会存在相关性, 如果能设法消除这种相关性, 就会大大改善图像质量, 提高系统的空间分辨率。

设系统在扫描方向上的固有空间分辨率为 d , 把被检测物体沿此方向分成若干等份, 每一份宽度为 d/n 。设被检测物体总共被分成 m 等份。

假设对应被检测物体各点的物理量为函数 $v(x)$, 几何高度为函数 $y(x)$, 其中 x 为位置变量, 则每一等分点处的物理量大小为:

$$v(x_i), \quad i = 0, 1, 2, \dots, m$$

从被检测物体刚到达探测器单元边缘开始, 进行第一次测量。此时系统输出为 0 (为了表达方便, 假定在射线束通道上没有物体时系统输出为 0), 然后, 随着物体的移动, 在每个等分点处进行一次测量。每次测量得到 1 个值, 设为:

$$v_D(x_i), \quad i = 0, 1, 2, \dots, m$$

根据射线与物质相互作用及探测机理分析可知: 每次测量, 系统输出值就相当于对应的相邻 n 个等分点处对应的物理量的积分和。因此有:

$$\begin{aligned}
 v_D(x_0) &= v(x_0) = 0 \\
 v_D(x_1) &= v(x_1) \\
 v_D(x_2) &= v(x_1) + v(x_2) \\
 &\dots\dots\dots \\
 v_D(x_n) &= v(x_1) + v(x_2) + \dots + v(x_n) \\
 v_D(x_{n+1}) &= v(x_2) + v(x_3) + \dots + v(x_{n+1}) \\
 v_D(x_{n+2}) &= v(x_3) + v(x_4) + \dots + v(x_{n+2}) \\
 &\dots\dots\dots \\
 v_D(x_{2n}) &= v(x_{n+1}) + v(x_{n+2}) + \dots + v(x_{2n}) \\
 &\dots\dots\dots \\
 v_D(x_m) &= v(x_{m-n+1}) + v(x_{m-n+2}) + \dots + v(x_m)
 \end{aligned}$$

由上述测量值进行差分, 可得

$$\begin{aligned}
 v(x_0) &= 0 \\
 v(x_1) &= v_D(x_1) \\
 v(x_2) &= v_D(x_2) - v_D(x_1) \\
 &\dots\dots\dots \\
 v(x_n) &= v_D(x_n) - v_D(x_{n-1}) \\
 v(x_{n+1}) &= v_D(x_{n+1}) - v_D(x_n) + \dots + v_D(x_1) \\
 v(x_{n+2}) &= v_D(x_{n+2}) - v_D(x_{n+1}) + \dots + v(x_2) \\
 &\dots\dots\dots \\
 v(x_{2n}) &= v_D(x_{2n}) - v_D(x_{2n-1}) + v(x_n) \\
 &\dots\dots\dots \\
 v(x_m) &= v_D(x_m) - v_D(x_{m-1}) + v(x_{m-n})
 \end{aligned}$$

按照上述公式, 由探测器的实际测量值, 依次递推, 可以精确重建出被检测物体在每一个等分点处对应的物理量。这样就相当于把探测器的固有空间分辨率提高了 n 倍。这种方法实质上是对测量数据进行了某种微分修正, 因此称之为扫描微分法。

把这种方法用于扫描成像系统中, 不用对原有的成像过程、成像装置进行任何改动, 也不需要附加任何设备, 只要调整一下被检测物体移动的速度和数据线采集周期, 进行一系列数学处理, 就可达到改善图像质量, 提高系统在扫描方向上的空间分辨率的目的, 而成像速度基本上不受影响。

该方法只适用于扫描成像系统, 原则上讲是一种通用的提高扫描成像空间分辨率的方法, 可以无限提高空间分辨率。但是, 应用于辐射成像领域也有一定的局限性。在辐射成像系统中, 信号中包含一种统计噪声, 对信号作差分运算会增加信号噪声。理论上讲, 在不增加射线强度的情况下, 把分辨率提高 n 倍, 信号噪声会增加 \sqrt{n} 倍。另外, 对信号加减运算, 从误差分析角度考虑, 也会在一定程度上增加信号噪声。但是, 这可以通过增加源强或采用数字图像处理方法加以改善。在不增加源强的情况下, n 取 2~5 较为合适。

3 小结

在辐射成像领域中,最大的困难往往在于庞大的探测器阵列和复杂的电子线路。通过减小探测器单元的物理尺寸提高空间分辨率,会增加设备成本、复杂性和制作难度。而且,探测器尺寸也不能无限减小。本文方法利用有限尺寸的探测器单元组成的一维线性阵列,获得更高的空间分辨率,并在 ^{60}Co 集装箱检测系统中取得了很好的效果。

参 考 文 献

- 1 王 勇,张继盛,费圭甫 硅微条粒子探测器 核电子学与探测技术,1997,17(3): 161
- 2 安继刚,卿上玉,邬海峰 充气电离室 北京:原子能出版社,1997. 198
- 3 阴泽杰,吴孝义,唐 瑜 提高阵列探测器空间分辨率的微位移测量方法 核电子学与探测技术,1997,17(1): 4

STUDY ON SPACE RESOLUTION IN 2D-RADIOGRAPHY SYSTEM

Wu Zhifang Zhou Liye Liu Xinling An Jigang Liu Yisi

(Institute of Nuclear Energy Technology, Tsinghua University, Beijing, 102201)

ABSTRACT

The paper describes the way to improve the spatial resolution without decreasing the physical size of cell detector in 2D-radiography system. It discusses geometrical magnification method and detector array micro-shift method, and designs a new way "scanning differential method". It has been applied in the ^{60}Co container inspecting system, and better result is gotten.

Key words Radiography Space resolution Detector array Scanning imaging Scanning differential method