

# 微层析成像用传感器及其信号处理技术\*

魏 彪 米德伶 于 渝 潘英俊

(重庆大学教育部光电技术及系统重点实验室, 重庆 400044)

**摘要:** 研究了一种微层析成像( $\mu$ CT, micro-computed tomography)用传感器. 针对面阵 CCD(charge coupled device)器件用于微层析成像线阵扫描中存在圆形光斑中心的图像问题, 采用能量跟踪法及几何法等开展了信号处理技术的研究. 新研制的传感器具有空间分辨率高(约几十  $\mu\text{m}$ )、结构灵活、光传输及光耦合效率高等特点. 该新型传感器可实际用于微层析成像之中.

**关键词:** 微层析成像; 面阵 CCD; 线阵扫描; 圆形光斑中心

EEACC: 7230

中图分类号: TP212

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2003)S0-0183-04

## 1 引言

随着材料科学的飞速发展, 出现了多种性能优异的复合材料及多层结构, 对这些新型材料进行密度分布及断层成像的研究, 以期从微、纳米层次上开展新材料、新工艺的研究, 具有重大的社会经济效益.

在计算机断层成像(computed tomography, CT)技术的研究中, X 射线计算机微层析成像(X-ray computed microtomography, X-CMT 或  $\mu$ CT)技术是一种新近发展起来的重要的图像技术, 该技术在微观缺陷无损检测(裂纹、气孔和分层等)和结构分析(陶瓷材料和复合材料等)等领域中具有广泛的应用前景. 在微层析成像系统中, 传感器有 CCD(charge coupled device)<sup>[1,2]</sup>, 也有光电二极管阵列 PDA(photodiode arrays)<sup>[3]</sup>, 还有图像增强器(image intensity)<sup>[4]</sup>, 其中, CCD 作为  $\mu$ CT 用传感器居多. CCD 传感器主要有两种类型, 一是线阵 CCD, 二是面阵 CCD. 采用不同的传感器类型, 其数据采

集形式和微层析成像方式是不尽相同的. 若采用线阵 CCD 传感器类型, 其为一维扇形束扫描数据采集二维 CT 成像, 特点是系统结构适宜, 扫描速度合理以及可以接受的串扰及传感器匹配. 若是采用面阵 CCD 传感器类型, 可以是一维扇形束扫描数据采集二维 CT 成像, 也可以为二维锥形束扫描数据采集直接三维 CT 成像. 然而, 前者没有充分利用面阵 CCD 数据采集效率高、信息量大的特点, 后者则使微层析成像系统的结构复杂、成本高且串扰严重. 有鉴于此, 我们研制了一种新型微层析成像用传感器, 即, 面阵 CCD 光纤耦合实现线阵扫描数据采集二维 CT 成像, 并对其信号处理技术进行了有关研究.

## 2 微层析成像用新型传感器的结构及特点

微层析成像  $\mu$ CT 用新型传感器是由闪烁晶体 CsI(Tl)、光纤及光纤面板、面阵 CCD 器件及其驱动放大电路等部分组成, 结构如图 1 所示.

在此传感器结构中, 闪烁体 CsI(Tl)作用是将

\* 国家自然科学基金资助项目(批准号: 60172074)

魏 彪 男, 1963 年出生, 博士, 副教授, 研究方向为核层析成像技术.

米德伶 男, 1959 年出生, 讲师, 研究方向为计算机图像技术.

于 渝 男, 1958 年出生, 高级工程师, 研究方向为半导体器件.

潘英俊 男, 1948 年出生, 教授, 博士生导师, 研究方向为光电子技术.

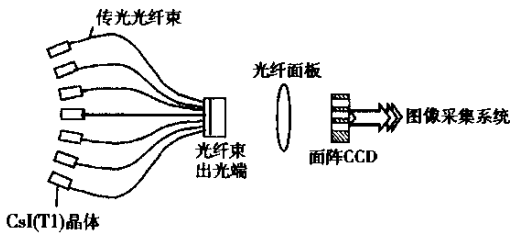


图 1  $\mu$ CT 用新型传感器结构示意图

Fig. 1 Sketch of novel sensor for computed microtomography

X 射线转换成可见光,其峰值波长为 560nm;可见光经线阵排列的光纤束并由光纤面板传输且耦合到面阵 CCD 的光敏面上,并最终在其内实现光电转换,驱动电路将电信号输出给后续电路,以供进一步的信号放大、分析及处理.在微层析成像  $\mu$ CT 系统中,采用此种结构,其特点是:

- (1) 面阵 CCD 器件的像元尺寸和光纤面板的纤维尺寸均很小,为  $\mu\text{m}$  级,因此,空间分辨率很高;
- (2) 面阵 CCD 器件可以直接用于一维扇形束线阵扫描数据采集进行二维 CT 成像,使之结构灵活多样;
- (3) 面阵 CCD 器件的多个光敏像元合并于一路传光光纤束,有利于提高传感器的灵敏度,从而提高测量时的信/噪比;
- (4) 揭去面阵 CCD 器件封装之盖玻片,将光纤面板直接耦合于面阵 CCD 的光敏面像元之上,可以降低光耦合损失;
- (5) 光纤面板能与光阴极较好地进谱匹配或响应,以此进行光耦合,提高耦合效率,并可避免光串扰(相当于起光自准直的作用);
- (6) 在此传感器光传输、光耦合过程中,传光路径上没有空气层或间隙,可以提高光的收集效率,等等.

### 3 圆形光斑图像中心位置的自动识别

在上述微传感器中,传光光纤束合并后经光纤面板耦合于面阵 CCD 器件的多个光敏像元时,必然存在一个圆形光斑图像中心位置的问题,对此需要进行自动识别,即进行信号的处理.目前圆形光斑图像中心位置的自动识别,主要有三种方法,即能量跟踪法、几何法及重心法.几何法就是通过找寻数字图像的边缘,再通过边缘坐标点来计算出图像中心.因

为其本质是几何性,所以称其为几何法.重心法是一种基于不规则物体寻找重心的方法类比过来的一种找寻圆形光斑图像中心位置的方法.在比较分析的基础上,我们采用能量跟踪法寻找圆形光斑图像的中心位置.

众所周知,对于一个光斑图形而言,其能量分布是沿着其几何中心向外逐渐减小,也就是说,对于一幅圆心光斑图像来讲,其能量最大点就是其几何中心,它包括图像的模糊处理、能量最大点寻找等过程.

#### 3.1 图像的模糊处理

数字图像,实际上是一组表现其能量参数的灰度值(一般取  $0\sim 255$ ).在微层析成像系统中,X 射线与闪烁体 CsI(Tl) 发生作用,产生光电效应及康普顿效应等,使闪烁晶体发出可见光.由于 CsI(Tl) 晶体尺寸为  $\Phi 2\text{mm}$ ,其发出的可见光极其微弱,因此,从传感器面阵 CCD 得到的数字图像,不可避免地将影响到图像的质量、清晰度以及图像的能量分布趋势等等,故须对其做一些预处理.其中,十分重要的一步就是对图像进行模糊处理,使图像的能量分布更加趋于合理化,避免出现不必要的突兀点.在对图像进行平滑处理时,通过对其进行低通滤波,以增强低频成分.此种方法的函数表达式如下<sup>[5]</sup>:

$$\begin{aligned} g(x, y) &= f(x, y)h(x, y) \\ &= \sum_{(m, n) \in A} h(m, n)f(x - m, y - n) \\ &= \sum_{(m, n) \in A} f(m, n)h(x - m, y - n) \end{aligned}$$

式中  $g(x, y)$  表示经平滑处理后的图像;  $f(x, y)$  是未处理前的图像;  $h(x, y)$  是低通滤波器的脉冲响应函数;  $A$  为  $h(x, y)$  的作用域;  $m, n$  均为整数.

$h(x, y)$  一般都是用一些模板来替代的,其算法就是用矩阵算法,通过用矩阵的中心元素代替中心像素  $(x, y)$  的灰度值.通过这些算法,使能量分布更加趋于合理化,由此展现在人们面前的是一幅相当模糊的图像,它能够体现出的信息已经不是某些细节问题了,因为这些细节已经被去除了,留下的只是原始图像的能量分布概要图像.

图 2 是采用所研究的微层析成像用传感器得到的一幅原始图像.在图像中,可以看到图像 P(5, 4) 这幅图像比较模糊,具有很大的光斑.图 3 是对图 2 经过处理以后的图像,同样,比较一下 P(5, 4) 与其他图像中心寻找效果会发现,经过模糊处理以后,图像能量分布更加合理,找到的中心也最准确.

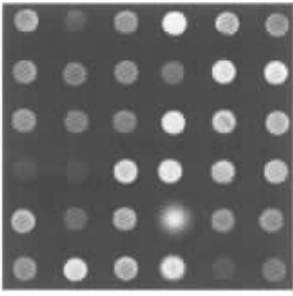


图 2 处理前图像

Fig. 2 Image before processing

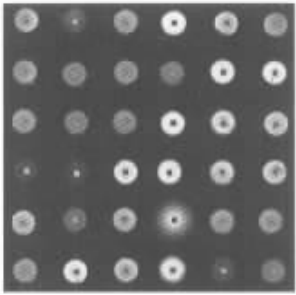


图 3 处理后图像

Fig. 3 Image after processing

### 3.2 图像的能量投影

经图像的模糊处理后,便可进行模糊图像在二维坐标上的能量投影,以便找出整幅图像的能量中心.该方法可通过软件的方式来实现圆形光斑图像中心位置的自动识别.具体是:(1)分别计算出图像沿  $x$  方向、 $y$  方向的投影(反映能量的参数);(2)分别找出这两个方向上能量投影的最大值,当同时满

足两个方向的最大值条件的点也就是要找的点,即图像的中心点.这种方法用软件来寻找图像的中心是十分简单的,也比较方便.

## 4 结束语

传感器是微层析成像  $\mu$ CT 系统的关键技术之一.随着材料科学的飞速发展,微层析成像技术的作用将日益扩大,由此对其系统的性能指标也提出了更高的要求,例如,高的检测效率、极高的分辨率及灵活的扫描方式,等等.研究的微层析成像用新型传感器,采用了模块化设计、一体化集成,并对其圆形光斑中心的图像问题,利用能量跟踪法开展了信号处理技术的研究,取得了预期的结果.

### 参考文献

- [ 1 ] Kohlbrenner A, Hammerle S, Laib A, et al. A 3D microtomographic system with stacked fan-beam geometry. Nucl Instrum Meth Phys Res A, 2000, 433: 531
- [ 2 ] Sasov A, Dyck D V. Desktop X-ray microscopy and microtomography. J Microsc, 1998, 191: 151
- [ 3 ] Ruegsegger P, Koller B, Muller R, et al. A microtomographic system for the nondestructive evaluation of bone architecture. Calcified Tissue Int, 1996, 58: 24
- [ 4 ] Machin K, Webb S. Cone-beam X-ray microtomography of small samples. Phys Med Biol, 1994, 39: 1639
- [ 5 ] Sun Zhongkang, Shen Zhenkang. Digital Image Processing and its Applications. Beijing: National Defense Industry Press, 1985 [孙仲康, 沈振康. 数字图像处理及其应用. 北京: 国防工业出版社, 1985]

# Sensor Used in Micro-Tomography and Its Signal Processing\*

Wei Biao, Mi Deling, Yu Yu and Pan Yingjun

*(The Key Laboratory for Optoelectronic Technology and Systems of Ministry of Education,  
Chongqing University, Chongqing 400044, China)*

**Abstract:** A novel sensor used in  $\mu$ CT(micro-computed Tomography) is studied. Mathematical methods for follow the tracks of energy and geometry are used as signal processing while imaging,accounting for problem of center of brightness with circle existed in linear array scanning by means of area array CCD to be used as sensor in  $\mu$ CT. This new sensor has such some properties as high space resolution,structure of flexibility,high efficiency with light transmitted and light coupled,etc. This new sensor can be applied in micro-computed tomography.

**Key words:** micro-computed tomography ( $\mu$ CT); area array CCD; linear array scanning; center of brightness with circle

**EEACC:** 7230

**Article ID:** 0253-4177(2003)S0-0183-04

---

\* Project supported by the National Natural Science Foundation of China(Grant No. 60172074)

Wei Biao male, was born in 1963, associate professor, PhD. His interest is X-ray computed tomography.

Mi Deling male, was born in 1959, lecturer. His interest is computer imaging.

Yu Yu male, was born in 1958, senior engineer. His interest is semiconductor device.

Pan Yingjun male, was born in 1948, professor. His interest is optoelectronics.

Received 16 September 2002, revised manuscript received 23 October 2002

©2003 The Chinese Institute of Electronics