

文章编号 10042924X(2003)0620586205

# X 光工业用 CT 成像二代扫描运动控制系统设计

魏彪, 冯鹏, 唐波, 潘英俊, 米德伶, 先武  
(重庆大学 光电技术及系统教育部重点实验室, 重庆 400044)

**摘要:** 分析 X 光工业用 CT 成像二代扫描的特点, 提出了实现二代扫描的两种运动控制方案。分析并比较了二代扫描的平移和分度运动(平移+ 旋转)之间的关系, 提出了提高系统扫描效率的两种方案。在此基础上, 确定了由上位机和下位机组成的分布式运动控制系统的总体方案, 设计了相应的硬件电路及软件, 获得了预期的试验效果。

**关键词:** 层析 X 射线摄影; 扫描成像; 运动控制; 上、下位机; 单片机

**中图分类号:** TH878.1 **文献标识码:** A

## Design of control system for X2ray industrial computed tomography (CT) generation20 scanning motion

WEI Biao, FENG Peng, TANG Bo, PAN Ying2jun, MI De2ling, XIAN Wu

(The Key Lab of Optoelectronic Technology & System,  
Department of Education, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** Two motion control schemes are proposed to realize the generation20 scanning by analyzing the characteristics of X2ray industrial computerized tomography (CT), and two scanning schemes are suggested to improve the scanning efficiency by analyzing and comparing the scanning motion with rotation of the generation20 scanning method. The distributed control system consisting of upper and lower computers is then designed together with control circuits and computer software, and experimental results have been obtained as expected.

**Key words:** X2Ray tomography; scanning imaging; motion control; upper computer and lower computer; single chip computer

### 1 引言

X 光也称 X 射线, 其本质和光一样, 也是一种光子, 且是一种频率极高的电磁波, 波长介于紫外线和 C 射线之间, 约为  $10^{-13} \sim 10^{-9} \text{ m}^{[1]}$ 。X 光医学诊断用 CT (Computerized Tomography) 成像, 即医用 X2CT, 已是家喻户晓的一种医疗临床

诊断手段。X 光工业用 CT 成像, 即工业 X2CT, 其原理与医用 X2CT 相似, 只是二者的检测对象不同, 故所用的 X 光能量及强度也不尽相同。工业 X2CT 是以不损伤被检测对象的性能为前提的一种无损检测技术, 且被誉为最佳的无损检测手段之一, 在航空、航天、国防、机械、电子、石油及电力等领域有着广阔的应用前景<sup>[25]</sup>。

收稿日期: 2003205210; 修订日期: 2003210216。

基金项目: 国家自然科学基金项目 (No. 60172074); 教育部骨干教师资助计划项目

在工业 X2CT 系统中,当探测器(或传感器)数量为有限的情况下,为获得 CT 成像用所需的足够的投影数据(如 256 @256 或 512 @512),则一般通过运动扫描方法来实现。国外工业 X2CT 系统的运动扫描方式主要采用二代(0代)扫描方式,即/平移+ 旋转0运动。在国内因研发的主要为工业 C2CT 系统,故较多采用三代(0代)扫描,即仅/旋转0运动,一则控制较为简单,二则 C 射线源射线出束角度可任意确定;对工业 X2CT 系统,则较多采用二代扫描运动控制,即/平移+ 旋转0运动,这缘于 X 射线出束角度有限制,一般小于 20。目前,国内对此项研究工作尚处于起步研究阶段。本文将介绍二代扫描的实现方案、提高扫描效率的方案以及运动控制系统总体方案的设计。

## 2 工业 X2CT 二代扫描的特点

工业 X2CT 二代(0代)扫描是在一代(N代)扫描基础上发展起来的,如图 1 所示。使用单个 X 光源多探测器阵列, X 光源为一小角度的扇形射线束。由于射线出束角小、探测器数目少,因此扇形束不能全包容被检断层,其扫描运动除被检物需作 M 个分度旋转外,射线束与探测器阵列架一起相对于被检物还需作平移运动,直至全部覆盖被检物,获得所需的成像数据为止。当需要得到被检物的三维图像时,再加一个分层运动即可。

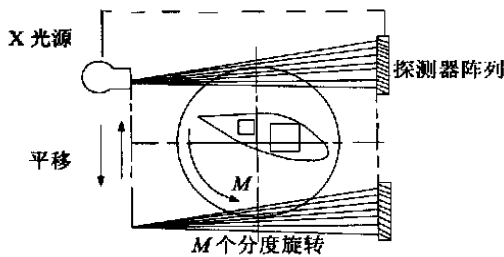
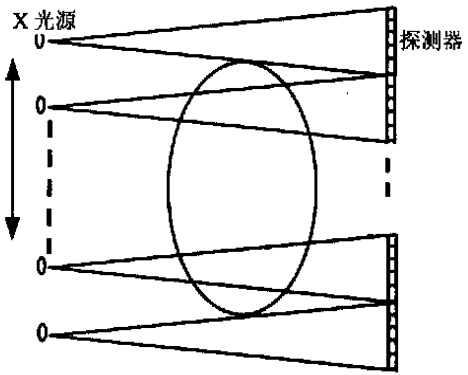


图 1 二代 CT 扫描方式  
Fig. 1 Generation2.0 scanning

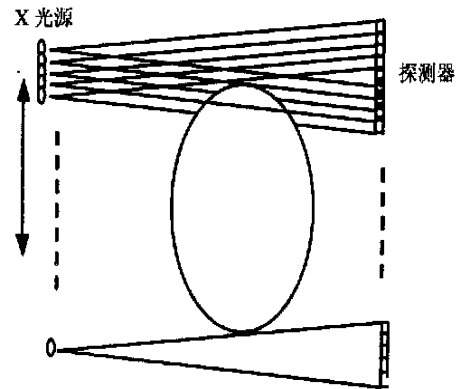
## 3 二代扫描方案的设计

二代扫描必须进行/平移0和/旋转0(分度)两种运动才能得到一个断层的 CT 图像。由于分层运动与平移及分度运动是基本独立的,所以二代扫描方案的设计主要是针对平移和分度运动。这二者的协调运动至关重要。根据二代扫描的特

点,设计了下面两种方案来实现二代扫描,如图 2 所示。



(a) 步进0式二代扫描  
(a) Stepwise scanning



(b) 连续0式二代扫描  
(b) Continuous scanning

图 2 两种二代扫描方案

Fig. 2 Two kinds of generation2.0 scanning

图 2(a) 所示为/步进0式二代扫描方案。之所以说是/步进0式,是因为 X 光源) 探测器相对于工作作/步进0式平行移动,每平移一次,探测器采集一次数据,得到与探测器数目相同数量的数据。系统运动从图中所示的最上端的位置开始进行扫描,到最下端所示的位置结束扫描。假设需要得到 M @N 个像素的图像,探测器数目是 A(一般为 2 的幂),这样就需作 M 次分度,并且每一次分度后, X 光源) 探测器也需要平行移动 (N/A+ 1) 次才能得到 N 个数据<sup>[5]</sup>。

当被检物大小尺寸有变化时,要保证得到 M @N 个数据,可使分度数与平行移动步数保持不变,调整被检物与探测器的相对位置关系即可。假

设被检物的尺寸为  $L$ ,  $X$  光源到探测器的距离为  $P$ , 探测器阵列的弦长为  $Q$ , 于是通过几何关系可以求出被检物中心到  $X$  光源的垂直距离为:

$$d = \left( \frac{N}{A} - LQ \right) @P$$

图 2(b) 所示为  $\lambda$  连续 0 式二代扫描方案。与  $\lambda$  步进 0 式扫描不同, 它的平移运动不是  $\lambda$  步进 0 式移动, 而是  $\lambda$  连续 0 移动。之所以称  $\lambda$  步进 0 式和  $\lambda$  连续 0 式, 主要是因为它们每次移动的距离不一样。对于  $\lambda$  连续 0 式, 可以用较少的探测器得到所需的数据, 这是因为  $X$  光源) 探测器相对工作台作连续移动, 每次移动的距离小, 其实就相当于在每两个探测器之间作插值运动。假设两种扫描方式所用的探测器数量相同, 在  $\lambda$  步进 0 式中  $X$  光源) 探测器相对工作台一步移动的距离, 在  $\lambda$  连续 0 式中就需要作  $n$  步移动来完成, 这就相当于在  $\lambda$  步进 0 式中作了  $n$  次插值操作, 得到的数据便是  $\lambda$  步进 0 式中得到数据的  $2^n$  倍。所以,  $\lambda$  连续 0 式只需用  $\lambda$  步进 0 式中探测器数量的  $1/2^n$  便可以达到要求, 这就大大节省了价格昂贵的探测器的数量, 节约了成本。

由于  $\lambda$  连续 0 式二代扫描有这样一个类似  $\lambda$  插值 0 的特点, 所以它的一个非常重要的用途是在对一个物体进行扫描的时候, 如果对物体的某一部感兴趣, 那么可以对物体进行局部扫描, 而在  $\lambda$  步进 0 式中则难于实现。这是因为在  $\lambda$  步进 0 式中, 由于探测器数量的限制而不能得到足够的数据, 而在  $\lambda$  连续 0 式中, 由于插值则可轻易得到所需要的数据。

#### 4 提高系统扫描效率的方案设计

在二代扫描过程中, 由于要得到足够多的用于图像重建的数据, 所以要反复进行平移和分度 (旋转) 运动。要完成所有这些运动将花费相当长的时间 (一般需要几 min 甚至几十 min), 所以提高系统的扫描效率是一件非常有意义的工作。提高系统扫描效率主要是在平移运动和分度运动的协调关系上进行考虑。

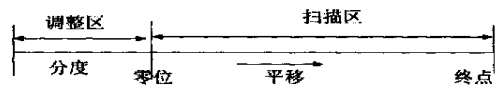
传统的二代扫描系统中, 平移运动和分度运动的关系如图 3(a) 所示。图中将分度和平移分开进行。其整个工作过程为: 在调整区工作台进行分度运动; 分度完成后, 工作台便从零位开始平

移运动, 在平移运动过程中进行扫描, 当到达终点后系统停止扫描; 工作台回零进行分度; 然后再重复前面的过程直到整个扫描结束。整个过程控制简单易行, 但效率非常低, 要占用大量的时间。

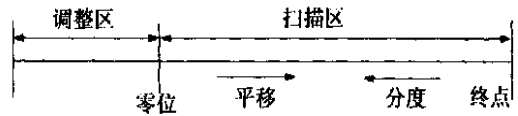
为了提高系统的扫描效率, 设计了如下两种方案:

改进方案之一:

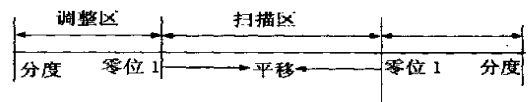
如图 3(b) 所示。平移运动和分度运动的关系为: 工作台从调整区快速运行到零位; 工作台从零位开始作平移运动, 在平移过程中进行扫描; 到达终点后, 工作台快速回零, 在工作台回零这个过程中, 进行分度运动; 到达零位后, 工作台便又开始平移运动, 重复前面的过程直到整个扫描结束。在此方案中, 系统充分利用了工作台从终点回到零位这段时间来完成分度运动, 从而提高了整个系统的效率。



(a) 传统方案  
(a) Scheme



(b) 改进方案 1  
(b) Scheme 1



(c) 改进方案 2  
(c) Scheme 2

图 3 扫描方案

Fig. 3 Scanning methods

改进方案之二:

如图 3(c) 所示。平移运动和分度运动的关系为:工作台在零位 1 进行分度运动;分度完成以后,工作台从零位 1 开始作平移运动,在平移过程中进行扫描;到达零位 2 后,系统停止扫描;工作台又进行分度运动;分度完成后,工作台从零位 2 开始作反向平移运动,在反向平移过程中系统再一次进行扫描;到达零位 1 后,系统停止扫描;然后再重复前面的过程直到整个扫描结束。在此方案中,系统充分利用了工作台从零位 2 回到零位 1 这段时间来进行平移运动,工作台在一个往返运动过程中系统进行了两次扫描,从而显著提高了系统的扫描效率。

### 5 驱动控制系统设计

根据系统的要求以及二代扫描的特点,采用由上、下位机组成的分布式开环控制方案来满足对控制系统的要求。如图 4 所示,采用 PC 机作为上位机,通过 Window 编程设计出友好的用户控制界面,用户只需通过界面按要求对实际控制系统进行一些相关参数的设置即可。参数设置后,用户便可以向下位机发出控制命令。控制命令是通过国际流行的 RS232 总线标准传向下位机<sup>[7]</sup>。

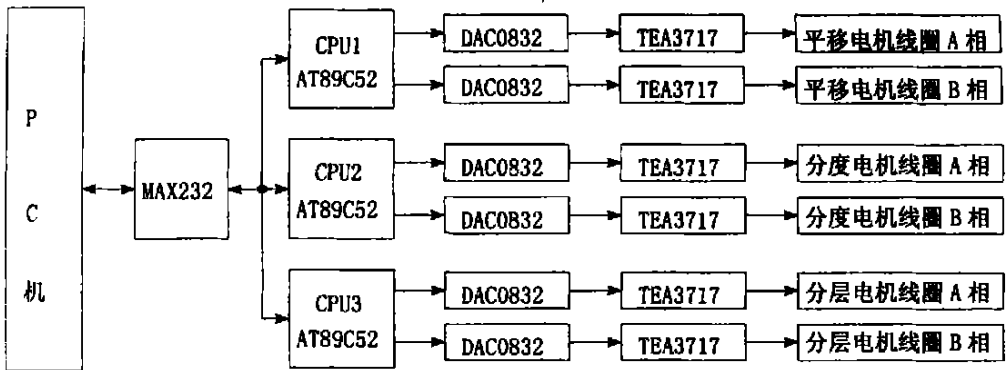


图 4 控制系统框图  
Fig. 4 Diagram of the control system

系统包含了三种运动方式,且各种运动方式之间要求能够协调工作。因此,为了保证运动控制的可靠性,采用分布式控制方法,各个运动采用单独的微控制器(CPU)与驱动器进行控制,这样便减轻了 CPU 的负担。

选用通用集成芯片来完成各部分的功能,以达到提高系统集成度与抗干扰的目的。单片机 AT89C52<sup>[8]</sup> 作为中央处理单元;MAX232 完成 TTL 和 RS232 之间电气特性的转换;DAC0832<sup>[10]</sup> 完成细分的工作;TEA3717 完成信号驱动放大的工作。另外,环形分配器的功能在单片机中用全软件的方法来实现。

在控制电路的基础上,设计了针对不同方案在各种效率情况下的软件实现,并进行了软硬件实验,利用 matlab 进行了一定的仿真<sup>[11]</sup>,在此基础上进行了理论上的 PID 校正<sup>[12]</sup>。实验表明,研

究方案设计合理,控制误差较小,设计达到了预期的目标。

### 6 结束语

(1)根据 X 光 CT 系统中二代扫描的特点,提出并实现了二代扫描的两种基本方案,即/步进 0 式二代扫描和/连续 0 式二代扫描;

(2)提出并设计了提高二代扫描效率的两种方案,基此分析了其运动过程及各种运动的协调关系;

(3)研制了步进电动机的驱动控制电路,包括通信电路、细分电路、驱动放大电路、外部中断接口电路以及单片机常规外围电路等;

(4)研制了上、下位机的软件,特别是下位机,针对其不同的控制方案设计了相应的控制软件。

## 参考文献:

- [1] NUZZO S, PEYRIN F, MARTIN E, et al. Assessment of bone mineral content from 3D synchrotron radiation microtomography images[J]. IEEE Trans on Nucl Sci, 2001, 48(3): 852-863.
- [2] LEE S W, KIM H K, CHO G. A 3D X-ray microtomographic system with a CMOS image sensor[J]. IEEE Trans on Nucl Sci, 2002, 49(4): 1502-1505.
- [3] 程耀瑜, 胡欧, 韩焱, 等. 高质量 X 射线数字化成像及图像采集[J]. 光学 精密工程, 2002, 10(4): 352-363.  
CHENG Y Y, HU O, HAN Y, et al. High quality X-ray digital imaging and its image collection[J]. Optics and Precision Engineering, 2002, 10(4): 352-363. (in Chinese)
- [4] SYLVIE C, MARC D, ZLATKO D. Real-time flat-panel pixel imaging system and control for X-ray and neutron detection[J]. IEEE Trans on Nucl Sci, 2002, 49(2): 152-163.
- [5] 先武, 李时光. 工业 CT 技术[J]. 无损检测, 1996, 18(2): 152-163.  
XIAN W, LI SH G. Industrial computed tomography [J]. Nondestruct Test, 1996, 18(2): 152-163. (in Chinese)
- [6] 王俊普, 黄胜. 高精度工业 CT 扫描运动控制系统设计[J]. 机械工业自动化, 1995, 11(3): 272-276.  
WANG J P, HUANG SH. High precision industrial CT scanning movement controlling system designing[J]. Mechanism Industry Automatization, 1995, 11(3): 272-276. (in Chinese)
- [7] 张建平. 单片机与 PC 机简易串行通信的实现[J]. 现代电子技术, 1999, 5(4): 302-311.  
ZHANG J P. The realization of simple serial communications for single-chip to PC machine [J]. Modern Electrictchnology, 1995, 5(4): 302-311. (in Chinese)
- [8] 钟刚毅. 89 系列 Flash 单片机原理及应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2000.  
ZHONG G Y. The principle and applications of 89 series single-chip [M], Beijing: Electron Industry Publishing Company, 2000. (in Chinese)
- [9] CHIH, CHEN M. Step motor driver for the lead-off mechanism of looms[J]. Journal of China Textile University, English Edition, 1998, 15(3): 532-542.
- [10] 丁园杰. 单片微机原理及应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.  
DING Y J. The principle and applications of single-chip [M]. Beijing: Machinery Industry Publishing Company, 2001. (in Chinese)
- [11] 王晓升. 改善性能的 PID 控制器校正方法[J]. 光学 精密工程, 2000, 8(4): 422-431.  
WANG X SH. Emendation to improving performance PID controller[J]. Optics and Precision Engineering, 2000, 8(4): 422-431. (in Chinese)
- [12] 张殿升, 卢振武. 面向对像分析、设计与编程[J]. 光学 精密工程, 2000, 8(6): 642-647.  
ZHANG D SH, LU ZH W. Facing to object analysis, designing and programme[J], Optics and Precision Engineering, 2000, 8(6): 642-647. (in Chinese)

作者简介: 魏彪 (1963-), 男, 浙江桐乡人, 副教授, 博士, 主要研究方向为核技术及其应用。E-mail: weibiao1963@163.com; Tel. 023265102515