

文章编号:1000-582X(2004)03-0009-04

激光共焦扫描显微镜运动控制系统设计*

范剑红,周学才,郭隐彪,邹琴

(厦门大学机电工程系,厦门 361005)

摘要:概述了激光共焦扫描显微镜的系统结构,以基于 DSP 技术的运动控制器构建其运动控制系统,详细介绍基于 DSP 的运动控制系统的构成。该系统采用工控机+运动控制器的双 CPU 结构。在软件设计上采用友好的人机界面,把系统任务按实时性和非实时性分别分配给上下位机完成。下位机完成位置控制和速度控制,上位机实现非实时的多任务功能。

关键词:激光共焦扫描显微镜;运动控制;数字信号处理;伺服驱动

中图分类号:TP273

文献标识码:A

激光扫描显微镜是融合光、机、电以及计算机和图像处理等技术的高新技术产品,它广泛应用于医药、生物、化学等领域^[1]。已经成为这些领域强有力的研究工具。目前,该产品的国产化程度较低,多数医疗科研机构的设备均从国外进口。我国在这一领域的研究开发已取得了一定成就,但在产品智能化和扫描分辨率方面尚有待于进一步提高。智能化和扫描分辨率不仅依赖精密的光学和机械系统,而且需要控制系统具有完善的软硬件来支撑^[2]。作者在介绍共焦扫描显微镜系统的基础上着重讨论了激光共焦扫描显微镜的运动控制系统。

1 共焦激光扫描显微镜系统

激光共焦显微镜是利用激光束经照明针孔形成点光源,对标本内焦平面的每一点扫描,标本上的被照射点,在探测孔处成像,由探测孔后的光电倍增管(PMT)接收,迅速在计算机屏幕上形成荧光图像。由于扫描过程是逐点进行的,因此需由电机驱动玻片沿 X-Y 平面运动,高分辨率图像的获得,不但要求有完善的光学与精密机械系统,而且还要求玻片运动平稳,防止抖动出现。否则会影响扫描效果,这就对运动控制系统提出了较高的要求。采用基于 DSP 技术的运动控制器很好地解决了共焦扫描显微镜的运动控制问题。

激光共焦扫描显微镜系统结构如图 1 所示,系统由光学扫描单元、数据传输及图像处理、运动控制单元和主机组成。光学扫描单元负责对数据进行采集。数据传输及图像处理单元接收扫描数据,并对数据进行视频处理后传输给主机和显示器。运动控制单元驱动载物玻片沿预定轨迹运动,实现逐点扫描。主控制机实现对下位机的控制及数据的数据的后处理。

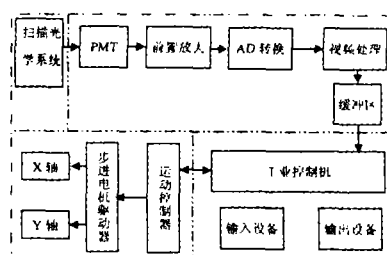


图 1 共焦激光扫描显微镜系统框图

2 DSP 控制技术

DSP 器件与以往采用通用微处理器进行数字信号处理相比,DSP 具有丰富的硬件资源、改进的并行结构、高速数据处理能力和强大的指令系统,已经成为数字信号处理的主流处理器。由于 DSP 采用哈佛结构,即程序存储器和数据存储器是两个相互独立的存储器,每个存储器独立编址、独立访问。因此取指和执行

* 收稿日期:2003-12-10

基金项目:国家 863 资助项目(8638042416)

作者简介:范剑红(1972-),男,福建莆田人,厦门大学机电系研究生,主要从事自动控制及机电一体化研究。

能完全重叠,使数据的吞吐率提高 1 倍,并行存贮和并行加载技术大大提高了程序代码效率和处理速度,指令按流水线执行,多数指令可在单周期内完成,数字信号处理能力大大提高,使得很多复杂的控制算法和功能得以实现。并将实时处理能力和外设功能集于一身^[3-4]。所以它在运动控制中得到越来越广泛的运用。

传统的运动控制系统,一般以单片机或单板机作为处理核心部件。此类控制器在高速度、高精度、多轴运动控制以及远程控制方面存在难于逾越的技术瓶颈^[5]。采用基于 DSP 技术的运动控制器,其灵活的系统集成方式和高速的指令执行速度提高了运动控制性能、改善了控制系统的精度、增强了系统构造的灵活性。本控制系统采用基于 DSP 技术的运动控制器 MCT8000F8, MCT8000F8 采用德州仪器公司第 3 代浮点 VLSI 数字信号处理芯片 TMS320C31。它可以在单指令周期内,并行执行定点的加法和乘法运算。可以通过 ISA 总线直接与工业控制计算机相连接,构成以工业控制计算机为上位机,运动控制器为下位机的双 CPU 结构。将控制系统按照实时性和功能性要求划分为不同的任务,并将这些任务分配在上下位机完成。下位机完成实时任务的处理,上位机完成系统运行中的非实时任务如运动轨迹编程与仿真、人机界面处理、网络功能等。上下位机的通信功能通过 ISA 总线来完成^[6]。

3 控制系统硬件结构

3.1 控制系统的构成

控制系统的硬件结构采用上下位机的分布式结构,在工业控制计算机的主板 ISA 扩展槽上插入多轴运动控制器。PC 机通过该接口与运动控制器交换信息,向运动控制器输出运动控制命令以及控制参数。控制程序下载到运动控制器后,运动控制器可以脱离主机独立运行,也可以通过主机实现基于网络的远程控制。为了实现多轴运动控制功能,还必须扩展相应的 I/O 口、编码器、以及伺服驱动单元。其结构如图 2 所示。系统的实时控制部分由基于高性能 DSP 运动控制器完成,其电机接线如图 3 所示。利用控制器中的步进控制通道驱动伺服放大电路,由伺服放大电路控制电机的运转。

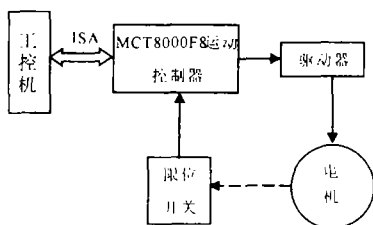


图 2 运动控制系统组成

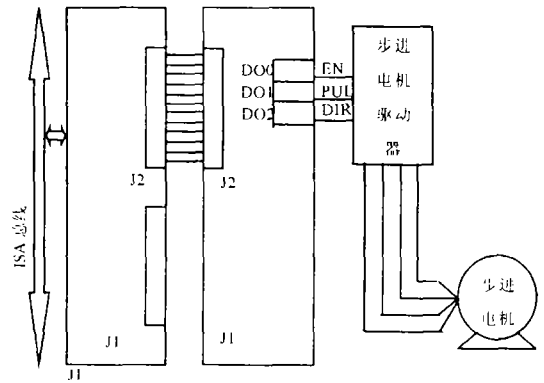


图 3 电机驱动原理图

3.2 控制器

运动控制器内核采用 TMS320C31 作为信号处理器。TMS320C31 DSP 提供 2 种不同的操作模式:微处理器模式和微计算机模式。微计算机模式在最终应用中的外围硬件需求最小。本控制系统采用微处理器模式,以使主机可以完全控制内存。运动控制器提供了运动控制、离散控制以及同主机的交互功能。它借助于 TMS320C31 数字处理芯片可同时控制 2 - 8 个轴。可解决复杂的运动控制问题,如点动、矢量定位、电子齿轮和轮廓控制。能消除运动冲击,实现平滑的运动轨迹。

运动控制器采用软硬件重构技术,根据控制对象的不同可对系统进行在线重构。根据系统的不同需求,可对控制器的硬件模块进行最佳调整。它提供两个双端口 RAM 通信通道,使主控机与控制器之间可以进行双向高速通讯。为与外部事件同步,控制器提供了 24 个可编程的数字输入,8 个数字输出和 8 个用于模拟传感器、压力变送器模拟信号输入通道。控制器还提供了光电隔离输入,可用于限位开关、运动取消、系统归零和其它信号的中断输入。和传统运动控制器相比,具有开放性结构,高速、高精度,网际在线控制,多轴同步控制的特点。

3.3 驱动放大电路

驱动放大电路用于把运动控制器输出的 $\pm 10\text{V}$ 信号转换为可驱动电机的电流。对于步进电机,放大器将脉冲和方向信号转换为驱动电流。放大器的功率与电机所需功率必须正确匹配。对于无刷电机,还要求放大器提供电子转向。

3.4 步进电机

由于显微镜在扫描过程中,为了获得准确的采样点,必须正确定位扫描镜相对载物玻片的位置。扫描镜与载物玻片的相对位置关系由 X - Y 轴步进电机确定,因此 X - Y 轴步进电机的位置精度直接决定了采样点的可靠性。本系统中,步进电机采用三相六拍进行控制。为了提高扫描分辨率和步距精度,步进电机采用细分驱动。细分是指每次输入脉冲切换时,只改变对应绕组中额定电流的一部分,那么转子的每步转动也只是原有步距角的一部分,很明显,通过控制绕组中电流的数值可以调整步进电机的步距角。

采用细分驱动时,如果采用等间距的脉冲电流,步进电机步距角会出现周期不均匀性,导致电机振动,这

将影响到扫描精度,使图像失真。为了改善这一缺陷,采用电流补偿方法调整,可以达到满意的效果。

3.5 扫描行程限位

由于扫描仪探头必须在扫描区域内运动,因此每个运行轴都有一个运动极限位置。为防止飞车,必须安装限位开关。限位可与运动控制器的 32 个数字输入接口连接,数字输入接口的电压范围为 0.5 V。在每个轴的 Home 和 End 位置安装限位开关,当扫描探头运行到极限位置时,伺服驱动器禁止,组成系统硬保护安全回路,并把 Home 和 End 位置信号输入给控制系统。

4 控制系统软件设计

激光共焦扫描系统是一个复合的多任务系统。而运动控制是一个实时的系统,因此整个系统既是多任务,又是实时系统,Windows 操作系统属于多任务系统,能满足多任务的要求。但其实时性较差,而运动控制过程要求 CPU 具有强大的运算能力来支持,因此控制系统采用上下位机的双 CPU 结构,由于 DSP 具有强大的运算能力,把实时运动控制放在下位机完成。在软件设计上,把系统任务分为两部分来处理,上位机负责管理、命令输出以及扫描仿真显示;下位机完成缓冲区的管理以及运动速度、加速度和插补控制。

运动控制器提供了在主机端用 C 语言编程,同时也提供了在 Visual C++、C++ Builder、Borland C++ 中开发主机端程序的动态链接库。系统的人机界面采用 Visual C++ 6.0 语言开发,DSP 主控程序则用 C 语言实现,配合自带的通讯函数模块 (MCTHOST.DLL)、运动函数库 (MCTBMCL)、基本输入/输出函数库 (MCTBIOS),可以开发友好的运动控制界面。其上上位机软件设计流程如图 4 所示。

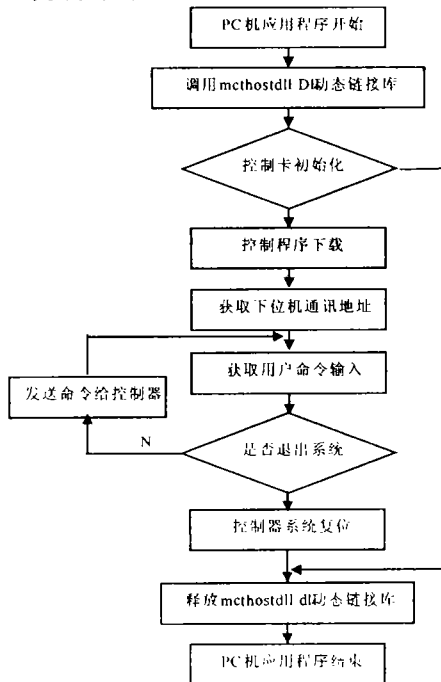


图 4 位机软件设计流程

4.1 运动加速度控制

传统的运动加速度控制有匀加速、三角函数双 S 加减速和抛物线双 S 加减速控制方式,3 种控制方式曲线参见图 5。由图可见,在初速度、最大加速度和最大速度相同的情况下,匀加减速控制方式在开始加减速和加减速结束处有速度突变,易引起机械系统的冲击和振动效应。这对整个系统是不利的三角函数双 S 加减速和抛物线双 S 加减速控制方式不存在速度突变,过渡平稳圆滑。而抛物线双 S 加减速控制比三角函数双 S 加减速控制更平稳。基于这个原因,本系统选择抛物线双 S 加减速控制。其程序代码如下:

```

pattern = MCT_PLANPATH_PARABOLA;
disv = (float)fabs((steady_vel * steady_vel -
start_vel * start_vel)/allow_accel);
if(end_vel <= MCT_CALC_EPS)
disv += (float)fabs(steady_vel * steady_
vel/allow_accel);
if(disv > disp)
{ disv = (float)sqrt(start_vel * start_vel + allow
_accel * disp);
if(end_vel <= MCT_CALC_EPS)
steady_vel = disv/(float)sqrt(2);
else if(disv > steady_vel)
steady_vel = (float)sqrt(start_vel
* start_vel - allow_accel * disp);
}
  
```

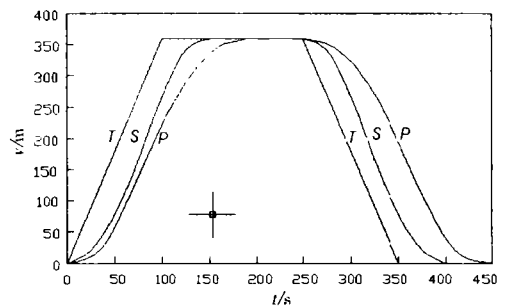


图 5 系统加减速控制规律对比

2.2 运动控制算法

PID 控制算法是连续系统中技术成熟、应用最为广泛的一种调节器,它结构简单,参数易于整定。通过在线整定,灵活改变它的参数和结构,容易满足控制质量的要求。表 1 为共焦扫描控制系统在线整定的 PID 参数。利用运动控制器提供的 PID 参数设置函数 set_PID_const 和参数读取函数 get_PID_const,可以方便地向控制卡写入或读出 PID 参数。

表 1 PID 参数表

K_p	K_i	K_d
0.05	0.8	0.02

5 实际系统介绍

图 6 为课题组开发的激光共聚焦扫描仪。系统界面采用 Visual C++ 6.0 开发。通过点击界面按钮来激发事件处理, DSP 的主控程序用 C 语言实现。在该界面内, 可以实现如下功能。

- 可选择自动扫描或手动扫描。
- 进行运动参数的设定, 包括扫描速度、加速度。
- 对采样范围及采样间隔进行设定。
- 可显示扫描运动轨迹及当前扫描位置。
- 可显示有扫描区域荧光变化的波形图。
- 可显示扫描图像。

通过一段时间的试运行, 运动系统运行稳定, 没有出现飞车、冲击、抖动的现象, 扫描质量可靠。实际证明该系统运动控制性能良好。

6 结束语

激光共聚焦扫描显微镜的性能很大一部分取决于它的运动控制系统, 采用基于 DSP 技术的运动控制器具

有高速、实时、高精度的特点, 而且控制系统结构简单, 系统开放性好, 支持运动控制策略的用户定制。系统性能稳定, 软件开发容易。因此, 它能满足开发高性能共焦扫描显微镜的要求。

参考文献:

- [1] 李楠, 王黎明, 杨军. 激光共聚焦显微镜的原理和应用 [J]. 解放军进修学院学报, 1996, (9): 232 - 234.
- [2] MASTERN, M. K., PANAHIL. Digital signal processors for modern control systems [J]. Control engineering practice. 1997, (4): 449 - 458.
- [3] S., Y. LIM; DAWSON, D. M. A; VEDAGARBHA, P. Advanced motion control of mechatronic systems via a high-speed DSP and a parallel processing transputer network [J]. Mechatronics, 1996, (2): 101 - 122.
- [4] KOREN Y, PASCK Z J, ULSOY A G, BENCHETRIT U. Real-time control architecture and system performance [J]. CIRP Ann. 1996, 45(1): 377 - 380.
- [5] 刘广超. 新一代 DSP 多轴运动控制器的运动规划及控制算法研究. [D]. 厦门: 厦门大学, 2003.
- [6] 吴建昆, 唐小琦, 宋宝. 一种基于 DSP 的伺服控制器的设计与应用 [J]. 机械与电子, 2003, (3): 26 - 28.

Design of a Motion Control System of Confocal Scanning Laser Microscope

FAN Jian-Hong ZHOU Xue-cai GUO Yin-biao ZOU Qin

(Department of Mechanical and Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: A confocal scanning laser microscope is presented. Its motion control system is built with the DSP-based motion controller. The system worked on a double CPU structure that includes industrial control computer and motion controller. The system adopted friendly man-machine interface in the design of software. The system's tasks are divided into real-time tasks and non-real-time tasks. The lower computer deals with the real-time tasks such as position control and velocity control and the upper computer is used to deal with the non-real-time tasks. The system structure of confocal scanning laser microscope and the constitute of motion control system as well as the software is introduced.

Keywords: confocal scanning laser microscope; motion control; DSP; serve-drive