

文章编号 1004-924X(2001)06-0553-04

一种基于操纵杆控制微操作系统三维运动的方法

王英翘, 徐征, 刘冲, 王立鼎
(大连理工大学, 辽宁大连 116023)

摘要: 介绍了一种操作杆控制微操作系统的三维运动的新方法, 其利用一种通用的操纵杆, 基于 windows 环境下, 通过对微操作系统的步进电机部分进行细分控制和操纵杆特性参数的设定, 利用立体视觉成像系统, 实现微操作系统的三维运动精密控制, 操作台行程 50mm, 控制精度可达 0.3 μ m。

关键词: 微操作系统; 步进电机; 三维运动控制; 操纵杆
中图分类号: TP242 文献标识码: A

1 引言

随着基因研究和生物技术的快速发展, 对于微观环境内的操作技术的研究也越来越迫切, 研究微操作系统, 是当今生命科学与微机电系统 (MEMS) 及微机器人交叉领域的重要课题。目前商业化的生物微操作系统存在的主要问题是: 操作难度大、操作时间长、人为因素影响大、易对细胞造成机械损伤以及微量进样控制不准等问题。

本文重点叙述了一种基于操作杆控制微操作系统进行三维精密运动的方法, 控制效果良好, 操作简便, 实现了高精度的微操作定位控制。

2 微操作系统结构与工作原理

我们研制的微操作系统由显微立体视觉部分^[7-8]、精密三维位移工作台、微操作器和操纵杆组成。显微立体视觉部分由体式显微镜、CCD 摄像头、计算机和液晶立体眼镜组成。精密三维位移工作台的驱动元件是步进电机, 传动部分选用精密滚珠丝杠和弹性联轴节传动机构, 采用恒流斩波细分技术后, 步进当量最小可达到 0.3 μ m。微操作器安装在三维精密位移工作台的末端, 完成夹持、注射、吸附等功能, 在进行微操作之前, 需要用精密三维位移工作台将微操作器定位到合适的位置, 图 1 是微操作系统控制图。

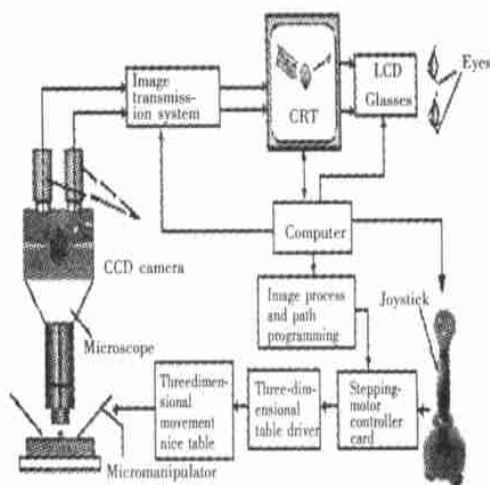


Fig. 1 Control principle figure of the three dimensional microamanipulation system.

2.1 显微立体视觉部分

显微立体视觉部分主要由体式显微镜、CCD 摄像头、液晶立体眼镜、图像采集卡和计算机构成。根据双目视觉原理, 由 CCD 左右摄像头模拟人眼采集图像信号送入计算机进行交替显示, 并控制液晶立体眼镜与交替显示频率同步开合, 佩带液晶立体眼镜的操作者即可在计算机屏幕上看到实时、彩色立体场景图像。

2.2 三维精密位移工作台构成

三维精密位移工作台由步进电机驱动部分和滚珠丝杠机械传动部分组成。步进电机驱动部分包括北京四通公司的 B 型电动机、对应的 6020 控制卡和驱动电源, 采用恒流斩波原理对步进电机步距角进行细分, 细分后步进当量最小可达

0.3 μm 。机械传动部分由精密滚珠丝杠、连轴节、滚动导轨和滑台组成,这种传动系统可以保证零间隙传动。

2.3 操纵杆控制微操作系统三维运动原理

经显微视觉系统处理后,将左右摄像机图像交替显示在计算机屏幕上,佩带液晶眼镜的操作者在计算机屏幕上观察实时显微立体场景,同时控制操纵杆,操纵杆发出电信号传送给核心处理程序,程序根据信号发出控制指令,控制微操作器到达合适位置。

通过操纵杆控制和显微镜立体显示,将操作者从显微镜前解放出来,降低了操作难度,提高了微操作的自动化精度。采用操纵杆控制微操作的关键在于:机械系统能及时响应操作者通过操纵杆发出的控制指令;能实时控制立体图像对的传输和显示。

3 操纵杆对微操作系统三维运动的控制

3.1 操纵杆的编程控制

操纵杆控制是重要问题,应该力求在操纵杆上实现三维定位控制的基本功能,并能突出操纵杆控制的易操作性,精确性和快捷性。我们选取 Logitech 3D 操纵杆作为前端控制器控制末端微操作器(如微针、微夹钳)定位。

这种操纵杆可对三维运动进行控制,用操纵杆上的摇杆的上下和左右方向分别对工作台进行 X 和 Y 方向运动控制,用摇杆的逆时针,顺时针运动控制 z 方向运动。操纵杆上有 7 个按钮,可以增加更多的功能。考虑到微操作的效率和定位精度,我们采用摇杆运动做粗调操作控制;在接近目标时,采用通过六个按钮键进行细调控制。另外,采用触发键做定位确认键,可减少误操作和定位的准确性。这样,在一个操纵杆上实现了三维运动定位的粗调控制和精调控制,完成末端微操作器定位的基本要求。

操纵杆上的轴是设备中有位置而无开关量的一种控制量,是由物理对象向某一方向的移动产生的一个值。轴可以是相对的也可以是绝对的,一般采用绝对轴模式,在任何方向它们都只能移动有限的距离,它们的位置是以与某一固定中心点的距离而测量的。操作杆 Z 轴是指摇杆旋转方向,用角度的相对变化来衡量大小,用时针方向来判断控制 Z 轴的运动方向。

3.2 步进电机控制方式选择

步进电机控制方式可分为位置模式控制和速度模式控制。

位置模式控制运动的依据是待发脉冲数,根据待发脉冲数设置运动包络线。速度模式控制运动的依据是待发脉冲的频率。采用操纵杆控制步进电机运动,目标点对程序是未知,无法确定待发脉冲数。操纵杆控制的关键问题是实时性问题,速度模式的实时性远好于位置模式,所以我们选用速度模式控制电机运动。定位精度取决与机械定位精度、响应时间和光学放大精度。

3.3 操纵杆属性设定和状态获取

操纵杆编程需要在 Windows 下访问硬件设备,Microsoft 公司开发的 DirectX 提供了类似功能。利用 DirectX 中的 DirectXInput 模块可以获得外部设备的按键和轴的状态。每种设备都有特定的数据结构来说明相关设备状态,对于操纵杆来说,数据结构是 DIJOYSTATE,它能够说明多达 32 个按钮、6 个轴、4 个视点帽。我们选用的操纵杆包括 7 个按钮、6 个轴,用 DIJOYSTATE 数据结构可以完整描述它的属性。

设定操纵杆设备属性包括轴如何提供位置数据(相对或绝对),数据缓冲区大小,轴的物理范围(如饱和度、死区)。操纵杆设备属性设定对控制效果是有影响的。以轴的范围设定为例,相同条件下,范围 10000 的行程是范围 5000 的 2 倍。饱和度是以最大值,最小值表示的误差范围。在该区域的值都认为是最大值或最小值。饱和度主要允许操作者操作时最大值和最小值和所处位置有所差异。死区就是围绕中心位置的一个圆形区域,在该区域的所有运动都被忽略。即在死区内的轴值都被认为是中心值。

设备状态的获取是通过定时调用 DirectXInput 中 Poll(轮询)方法来获得。

4 实验测试

为验证控制效果,检验操纵杆的控制稳定性和准确性,做了以下实验。实验工作台是由步进电机控制的三轴连动的精密工作台,行程 50mm。

4.1 实时性实验

由于指令响应的快慢主要由轮询函数的定时器定时时间决定,所以将定时器时间分别定在不

同时间, 进行操作, 实验结果如表 1 所示。

Table 1 Real time test analysis table

Timer time	Real time character	Stability	Actual responding time
55ms	best	bad	variational
100ms	best	good	about 100ms
200ms	best	good	about 200ms
500ms	better	good	500ms
1000ms	bad	good	1000ms

实验结果表明定时器定时时间为 100ms 时, 系统工作效果最好, 满足工作要求。

4.2 定位精度实验

定位精度实验对 x, y, z 三轴分别进行实验, 理论行程分别为 $68\mu\text{m}$, $160\mu\text{m}$, $1000\mu\text{m}$ 。采用电感比较仪在室温下测量, 电感比较仪分度值为 $0.1\mu\text{m}$, 合成标准不确定度 $U = 0.018\mu\text{m}$, 其校准测量能力 $U = 0.04\mu\text{m}$ 。测量结果(带校正不确定度)如表 2 所示。

Table 2 Analysis table of distance errors

Axis option	X	Y	Z
Theory distance 1	$68\mu\text{m}$	$68\mu\text{m}$	$68\mu\text{m}$
Average actual distance	$67 \pm 0.183 \mu\text{m}$	$67 \pm 0.183 \mu\text{m}$	$67 \pm 0.183 \mu\text{m}$
Average distance error	$1 \pm 0.183 \mu\text{m}$	$1 \pm 0.183 \mu\text{m}$	$1 \pm 0.183 \mu\text{m}$
Theory distance 2	$160\mu\text{m}$	$160\mu\text{m}$	$160\mu\text{m}$
Average actual distance	$158 \pm 0.187 \mu\text{m}$	$158 \pm 0.187 \mu\text{m}$	$158 \pm 0.187 \mu\text{m}$
Average distance error	$2 \pm 0.187 \mu\text{m}$	$2 \pm 0.187 \mu\text{m}$	$2 \pm 0.187 \mu\text{m}$
Theory distance 3	$1000\mu\text{m}$	$1000\mu\text{m}$	$1000\mu\text{m}$
Average actual distance	$995 \pm 0.211 \mu\text{m}$	$995 \pm 0.211 \mu\text{m}$	$995 \pm 0.211 \mu\text{m}$
Average distance error	$5 \pm 0.211 \mu\text{m}$	$6\mu\text{m} \pm 0.211 \mu\text{m}$	$4\mu\text{m} \pm 0.211 \mu\text{m}$

实验结果表明, 系统的定位误差在 $1000\mu\text{m}$ 内不大于 $6\mu\text{m} \pm 0.211\mu\text{m}$ (校准不确定度), 满足微操作定位要求。

维微操作, 操作台行程 50mm, 精度可达 $0.3\mu\text{m}$, 符合微操作精度要求。这种方法具有操作简便, 精度可靠, 工作效率高等特点, 是一种符合人机工程学的微操作定位控制方法, 在使用中取得满意的效果。

5 结 论

利用操纵杆结合计算机立体视觉技术进行三

参考文献:

- [1] Bradley Barga Peter Donnell. Inside Direct X. 从入门到精通[M]. 北京: 北京希望电脑公司, 1999.
- [2] 孙鹤旭. 交流步进传动系统[M]. 北京: 机械工业出版社, 1990.
- [3] 朱春喜, 吴佳鲜. DirectX 5/6 高级多媒体程序开发[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1999.
- [4] 郑巍, 徐毓娴, 李庆祥. 用于微器件装配的微操作系统[J]. 机器人. 1999; 21(1): 12- 15.
- [5] Grace K W. A six degree of freedom micromanipulator for ophthalmic surgery[A]. IEEE International Conference on Robotics and Automation[C]. 1993 : 630- 635.
- [6] SATO Tomomasa, KAMEYA Takayuki, HATAMURA Yotaeo. Hand-eye system in nano manipulation world[A]. IEEE International Conference on Robotics and Automation[C], 1995: 425- 431.
- [7] 陈平, 姜成山, 章云, 等. 用于微细作业系统的立体成像技术研究[J]. 光学 精密工程, 2000, 8(5): 444- 447.
- [8] 于波, 王立鼎, 刘立新. 电视显微立体成像系统中的闪烁问题及解决方法探讨[J]. 光学 精密工程, 1998, 6(1): 53- 57.

Method for Controlling Micromanipulation System Movement in Three- Dimensional Way by Joystick

WANG Ying-qiao, XU Zheng, LIU Chong, WANG Li ding

(*Dalian University of Technology, Dalian 116023, China*)

Abstract: A new method for controlling micromanipulation system movement in three dimensional way by using a joystick is presented in this paper. In the support of a Windows operating system, a universal kind of joystick is used to control a stepping motor in the subdivision mode, and the characteristic parameters of the joystick are set to make the three dimensional micromanipulation system move accurately.

Key words: micromanipulation systems; stepping motors; three dimensional control; joysticks

作者简介: 王英翘(1975-), 男, 辽宁大连人, 大连理工大学机械学院硕士生。主要研究方向为微操作系统控制理论问题研究。E-mail: wangyg@student.dlut.edu.cn

徐 征(1973-), 男, 河南省人, 大连理工大学博士生, 1997年在吉林工业大学机械学院获学士学位, 2000年在吉林工业大学获工学硕士学位, 2000年在大连理工大学攻读博士学位, 研究方向为显微立体视觉、微操作自动引导等。

刘 冲(1963-), 男, 武汉市人, 工学博士, 教授。大连理工大学机械工程学院先进制造研究所副所长。主要研究方向为微机电系统、微操作机器人、微流控生物芯片等。获省部级优秀图书奖1项、省部级鉴定成果2项、专利1项。作为第一作者发表论文30余篇, 出版专著1部(第二作者)。主持承担教育部和大连市基金项目, 作为主要研究人员参加国家攀登计划B、973和863等研究项目。

王立鼎(1934-), 男, 辽宁省人, 大连理工大学教授, 中国科学院院士。任大连理工大学微机电系统研究中心主任。先后担任国家攀登计划B“微电子机械系统”项目组专家, 国家863微型机械主题规划与执笔专家, 国家自然科学基金委员会评审专家等职。任国家微机电系统(MEMS)发展战略规划专家, 先后完成国家重点和面上基金20余项。获得国家科技进步二等奖2项、三等奖1项、全国科学大会奖1项、省部委奖励10余项。撰写论文100余篇、主编译著1本。