

文章编号: 1002-0446(2000)04-0310-05

微操作机器人控制系统下位机的设计*

董玉涛 张建勋

(南开大学机器人与信息自动化研究所 300071)

摘要: 微操作机器人是智能机器人研究的一个重要领域. 本文比较详细地介绍了微操作机器人控制系统下位机的硬件设计与软件实现. 并用该控制系统做了生物细胞的搬运实验, 结果表明我们设计的下位机运行稳定、可靠, 满足生物实验的精度要求.

关键词: 微操作机器人; 下位机; 多轴控制单元; 单轴控制单元; 步进电机

中图分类号: TP24

文献标识码: B

1 引言

现代生物医学的发展对先进实验设备的依赖程度越来越高. 落后的实验手段和陈旧的设备会阻碍生物和医学领域的发展. 目前生物领域中对转基因动植物的研究离不开显微切割和注射等操作. 由计算机控制的微操作机器人系统就是针对生物和医学领域中的多种显微操作而设计、研制的一种微操作系统. 该系统能帮助实验人员完成多种显微操作, 与传统的手动微操作系统相比, 提高了实验过程的自动化水平和工作效率, 降低了对操作人员的要求.

微操作机器人下位机是该系统的关键部件. 它接受上层管理系统发出的各种命令, 进行解释, 以要求的距离、速度和加速度控制步进电机, 以很高的精度完成显微切割和注射等操作. 为了保证系统的可靠性和适应性, 我们在设计中注重了微操作机器人系统体系结构的合理选择, 采用了 PC 机的开放式体系结构, 充分发挥了下位单片机的运算与控制能力, 完成系统的实时控制任务.

2 微操作机器人系统体系结构

微操作机器人系统是一种专用的精密仪器, 其软硬件的设计遵循了精确、实用和易操作的原则: ①具有很强的通用性, 能适应不同的应用要求, 使用户容易掌握; ②结构模块化、层次化, 可根据不同的需要, 扩展现有的硬件; ③易于安装、维护和调试.

该系统由上位机, 下位机, 11 个自由度的机械臂(左右手各 3 个, 载玻平台两个, 粗调旋钮一个, 吸附器一个, 注射器一个)和显微镜组成. 上位机负责显微图象的实时显示、轨迹规划和系统管理. 下位机是由一个多轴控制单元和 11 个单轴控制单元组成的多轴控制系统. 多轴控制单元负责上位机和单轴控制单元之间的通讯. 单轴控制单元负责将上位机传来的距离、速度和加速度转化为相应的脉冲数、频率和频率变化率, 并发给电机驱动模块, 同时监测电机的故障与限位(操作手移到边界)信号, 实时地向上位机报警. 上下位机协调地控制机械臂的运动, 操纵吸附器和注射器对细胞进行各种操作. 显微镜上有一个 CCD 摄像机, 将采集到的图像实

* 基金项目: 国家“863”计划资助项目(512-04-28).

收稿日期: 1999-09-14

时地传送到上位机内的图像卡,并实时地显示在屏幕上。

下位机的主要技术规格如下:

- (1) 多轴控制微处理器: 由单片机存储器和相应的通讯单元组成。
- (2) 单轴控制微处理器: 由单片机存储器、通讯单元、输出控制接口和输入监测接口组成。
- (3) 通讯方式: 多轴控制微处理器与上层计算机采用并行通讯和实时中断的工作方式,多轴与单轴控制单元进行异步串行通讯,也工作在实时中断方式下。

(4) 系统控制: 11 个单轴控制单元,各自控制一个关节,完成脉冲输出、运动控制和故障、限位信号的监测,并实时地向用户反馈状态信息。

下位机的主要特点: 同时控制 11 个关节,每个单片机控制一个关节,使左右两臂沿空间任意轨迹运动。

3 下位机硬件结构

下位机在硬件上由两部分组成: 多轴控制单元和单轴控制单元。多轴控制单元完成上、下位机间的实时通讯;单轴控制单元完成脉冲输出、运动控制和故障、限位的监测。其硬件结构图如下:

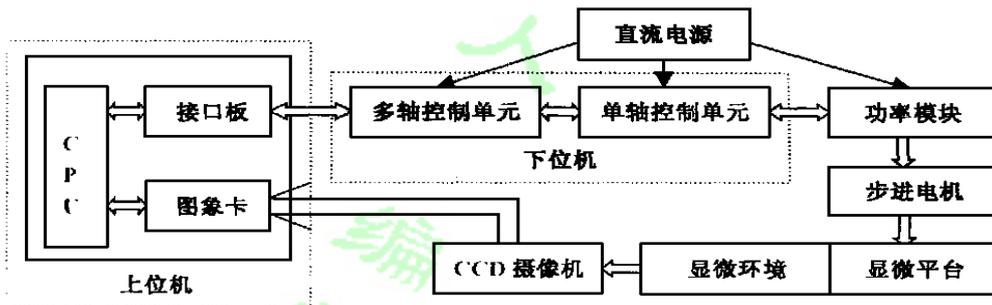


图 1 下位机硬件结构

3.1 多轴控制单元

多轴控制单元是上、下位机之间的桥梁,硬件结构的设计以紧凑、标准化和可扩展为原则。它通过电缆线与计算机内的接口板相连,接口板起数据锁存的作用,用于上、下位机之间的通讯。

上、下位机之间的通讯需要解决的一个重要问题是如何保证数据的可靠传输。我们的解决方案是:在硬件上,在接口板上使用两组接口,一组是上位机向其写数据,下位机从中读数据;另一组是下位机向其写数据,上位机从中读数据,这样就不会发生混淆。在软件上,采用发送等待机制:当发送方发出数据时,给接收方发中断信号并等待接收方发来的中断。在中断处理程序中,读取接收方送回的数据并加以比较。若相同,则继续发送,否则发错误码并重新发送;接收方在中断处理程序中,接收数据并返还给发送方,若下次收到的是错误码,则重新接收。收发双方均采用中断机制,协调地完成整个通讯过程。

多轴控制单元上有 11 个插槽,它们各自接一个单轴控制单元。单轴控制单元都相同,各自控制一个关节。这种结构充分体现了标准化和可扩展的原则,使体积最小,连线形式简单。多轴控制单元与单轴控制单元之间进行异步串行通讯。我们利用多轴控制单元和单轴控制单元的

固有串行通讯模块实现各自的地址与数据的接收. 多轴控制单元将来自上位机的地址发给所有的单轴控制单元, 只有地址匹配的单元才会接收随后的数据, 然后依据数据中的距离、速度和加速度控制步进电机, 带动关节运动. 单轴控制单元在运动结束、故障和限时时会向多轴控制单元发回数据, 并由多轴控制单元传给上位机.

3.2 单轴控制单元

单轴控制单元是整个运动系统的核心, 它依据距离、速度和加速度控制发往电机的脉冲数、频率和频率变化率. 单轴控制单元的任务是对整个运动过程实施控制与规划, 包括加速、匀速和减速过程的规划. 而运动的形式和阶段又影响规划的算法和软件的实现.

下面是单轴控制单元处理运动过程的几个关键特征:

(1) 单轴控制单元的输入信号有: ①故障信号 FAULT, 连到外部中断引脚 INT0 上, 用于接收电机的故障, 并向用户报警; ②限位信号, 接到外部中断引脚 INT1 上, 用于接收限位信息, 在中断服务程序中判断哪端限位并及时向用户报警. 输出信号有: ①步进信号 STEP 控制脉冲的特征; ②方向信号 CW 控制运动的方向; ③ E/D 信号控制电机是否运动; ④R/R 信号控制电机的复位.

(2) 为了计算脉冲数以了解当前的运动距离, 将 STEP 信号反馈到单轴控制单元的计数器引脚上. 每当有一个脉冲, 计数器就加 1, 这样读取到距离值, 就能在有给定距离的运动中判断运动是否可以结束.

(3) 至于脉冲频率, 我们使用了单轴控制单元内部的定时器作为计时工具, 从而实现了脉冲周期的准确度量, 这对加速及减速过程的精确实现起到了关键作用.

4 下位机软件结构

上位机软件从运动学角度出发, 根据显示器的像素位置, 计算并转换成实际要运动的物理位移和速度, 然后将这些变量以命令的形式传给下位机.

下位机软件主要完成以下工作:

(1) 多轴控制单元和单轴控制单元的通讯. (2) 单轴控制单元的运动控制. 前者是通过两个单元之间的串行通讯完成的, 主要完成数据的双向传送. 后者完成对微操作机器人各关节的运动控制与监测.

4.1 通讯程序

(右图是多轴控制单元的工作流程图) 多轴控制单元有两个缓冲区: “PC→多→单”缓冲区和“单→多→PC”缓冲区. 多轴控制单元以并行方式与上位机通讯, 将接收到的数据存储在“PC→多→单”缓冲区中, 然后向单轴控制单元传. 上位机下传的命令有: 初始化码、运动 1 码、运动 2 码、运动

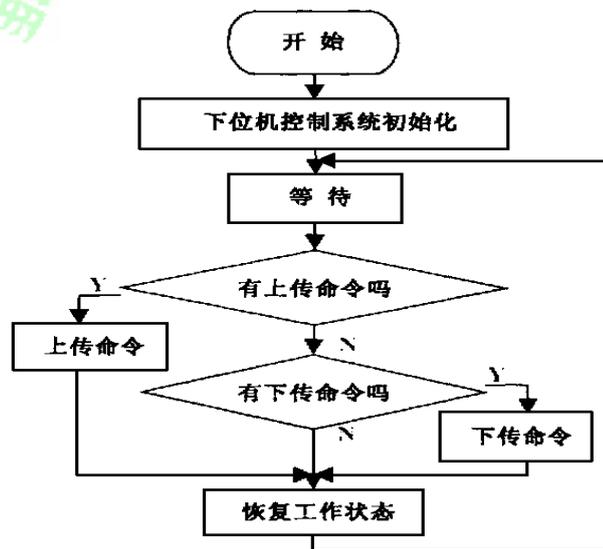


图 2 多轴控制单元的工作流程图

3 码以及停止码等. 这些代码传送的内容不同, 占用的字节数也不同. 单轴控制单元依据这些代码中的特殊位判断是何种代码, 依据何种距离、速度和加速度做何种运动. 同样, 多轴控制单元也接收单轴控制单元上传的数据并存储在“单→多→PC”缓冲区中, 然后向上位机传. 下位机上传的命令主要有: 运动结束码、故障码和限位码. 同样, 这些代码传送的内容不同, 占用的字节数也不同. 上位机根据这些代码中的特殊位判断是何种代码, 并实时地提示给用户.

单轴控制单元有一个缓冲区, 用于接收多轴控制单元下传的数据, 若数据是初始码, 则将高、中、低三种固定的速度, 大、小两种固定的加速度存入自带的 EEPROM 中.

4.2 运动控制程序

运动控制程序控制微操作机器人的运动. 这部分程序位于单轴控制单元中. 其核心是一个实时中断. 在该中断服务程序中, 根据不同的阶段对速度加以处理, 完成加速、减速运动. 微操作系统的运动形式为运动 1、运动 2 和运动 3. 运动 1 是指以低、中或高速运动, 直至收到停止命令. 运动 2 是指以低、中或高速移动某一距离. 运动 3 是指以某一速度移动某一距离. 它们的 s-v 图如下.

对运动 2 和运动 3 而言, 已知 v_0 、 v_1 和加速度, 在加速阶段, 当每个脉冲结束时, v_0 加上加速度, 直至达到 v_1 , 并记下此时的距离 s_0 , 而 $s_0 = s_2$, 于是 $s_1 =$ 总距离 - $2 \times s_0$. 在匀速阶段, 时刻通过计数器判断脉冲计数是否达到 $s_0 + s_1$, 若达到则进入减速阶段. 在减速阶段, 当每个脉冲结束时, v_1 减去加速度, 但仍判断脉冲计数是否达到已知的总距离, 若达到, 则运动结束. 控制运动的算法就是依据上述原理完成的. 此外, 还要监视运动过程中出现的故障及限位信号, 并实时地上报给用户.



图 3 s-v 图

5 实验结果

我们利用这个微操作机器人系统设计了一个细胞搬运实验, 得到了比较好的结果. 显微工作域长 110 微米, 宽 80 微米. 开始时, 微针和细胞在视野的右下方(图 4), 然后利用下位机同步控制两个步进电机, 带动微针在 x-y 平面上移动 70 微米(图 5). 实验误差小于 1 微米, 完全达到预期要求.

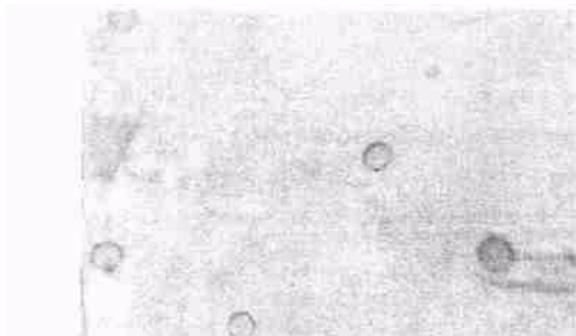


图 4 实验结果

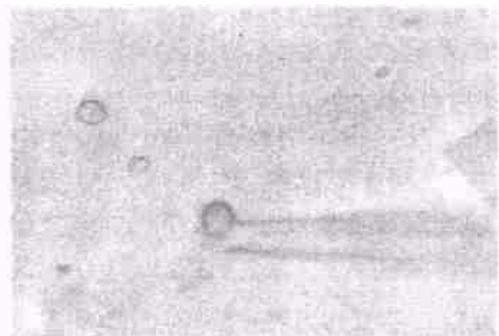


图 5 实验结果

从实验结果看: 我们设计的微操作机器人系统下位机是稳定、可靠的, 微机器人在它的控制下可以达到 1 个微米级的运动精度, 可以满足大部分生物医学实验的精度要求.

6 结论

本文以微操作机器人系统下位机为研究对象, 详细地介绍了我们研制的微操作机器人系统的硬件与软件, 并通过细胞搬运实验表明我们研制的下位机是稳定、可靠的, 它可以控制微机器人完成大多数的生物及医学实验.

参 考 文 献

- 1 黄亚楼, 卢桂章. 微机器人和精微操作的研究和发展. 机器人, 1992, 14(4): 53- 59
- 2 郑国昌, 古祝平. 生物显微技术. 高等教育出版社, 1993 年
- 3 M. Washizu. Electrostatic Manipulation of Biological Objects in MicroFabricated Structures. Integrated Micro-motion System - Micromachining control and Applications, Elsevier Science publishers B V, 1990
- 4 Dai Homma, Yosshiyuki Miva, Nobuhiro Iguchi. Micro Robots and Micro Mechanisms Using Shape Memory Alloy. Integrated Micro-Motion System - micromachining Control and Application. Elsevier Science Publishers B V, 1990

DESIGN OF SLAVE COMPUTER UNDER MICRO-OPERATION ROBOT

DONG Yu-tao ZHANG Jian-xun

(Institute of Robotics and Information Automation on System, Nankai University)

Abstract: Micro-robot is an important research field in intelligent robots. This article discusses design of hardware and implementation of software in slave computer under micro-operation robot. We also carry out a number of experiments on cells conveying. The results show that our system is stable and reliable.

Keywords: Micro-operation robot, slave computer, multi-axis control unit, single-axis control unit stepping dynamo

作者简介:

董玉涛 (1974-), 男. 研究领域: 面向生物工程的微操作机器人系统.

简 讯

由上海交通大学(SJTU)、柏林工业大学(TU Berlin)、德国信息协会(Gesellschaft fuer Informatik)、德国工程学会(German Engineering Society)共同发起“2000 先进机器人技术及应用国际研讨会”(Advanced Robotics and Application' 2000)将于 2000 年 10 月 5 日~ 6 日在上海交通大学举行。组委会由来自德、日、香港、内地著名大学和科研机构的专家学者组成。大学交流论文 40 余篇。还有许多业内优秀企业家参会。

会议联系人: 曹其新先生 Tel: 62932686; 张妍女士 Tel: 62932958

E-mail: abbychang@263.com