

基于 DSP 的草莓采摘机器人关节控制器的研究

戴刘江, 张铁中, 杨丽

中国农业大学农业工程系, 北京 (100083)

E-mail: dlj831220@163.com

摘要: 本课题以永磁同步电机为执行电机, 采用三闭环位置伺服控制方案, 直轴电枢电流为 0 的矢量控制策略, 制作了以 DSP 为处理器的运动控制器; 采用 ACPM750E 为电机功率驱动模块, 进行相应控制程序的设计。实验结果表明基于 DSP 的草莓采摘机器人关节控制器的位置误差在 $\pm 1.0\text{mm}$ 内, 运行稳定可靠。

关键词: 运动控制器, 矢量控制, PMSM, DSP

中图分类号: TM35

1 引言

目前, 草莓采摘机器人的研究在国内外受到广泛重视^[1-2]。采摘机器人控制系统是机器人的核心, 决定机器人的性能和作业效果。草莓采摘机器人与工业机器人的作业环境相比具有以下特点^[2-3]: 作业范围大, 需要在田间或温室内移动; 草莓鲜嫩, 易受损伤, 生长位置具有不确定性; 采摘时常遇到枝叶障碍等。草莓采摘机器人的购买对象为农户, 这就要求机器人的价格合理。因此, 草莓采摘机器人需要采用控制精度高, 响应速度快, 占用空间小, 价格低的运动控制器。目前广泛用于工业场合的运动控制系统体积大且价格昂贵, 不适合于采摘机器人。本课题旨在研究控制精度高, 响应速度快, 占用空间小, 价格低适合于采摘机器人的运动控制器。

2 草莓采摘机器人关节控制器的方案选择

本研究采用了本实验室已有的采摘机器人平台^[4]。采摘机器人主要由机构本体、视频信号采集与处理系统、控制系统和人机界面组成。工作时, 机器人视觉系统通过摄像机采集目标草莓的位置信号, 经图像处理获得所要采摘草莓的空间三维坐标信息, 并将此坐标输入上位机; 上位机根据机器人正、逆运动学计算出机器人的最佳运动轨迹; 再把运动轨迹信号送给控制器, 驱动各个关节有序运动, 使末端执行器运动到所要采摘的草莓的位置, 实现草莓的采摘。

本课题所研究的控制系统利用 PC 机作为上位机, 根据给定末端执行器相对于基坐标系的位姿, 规划出运动过

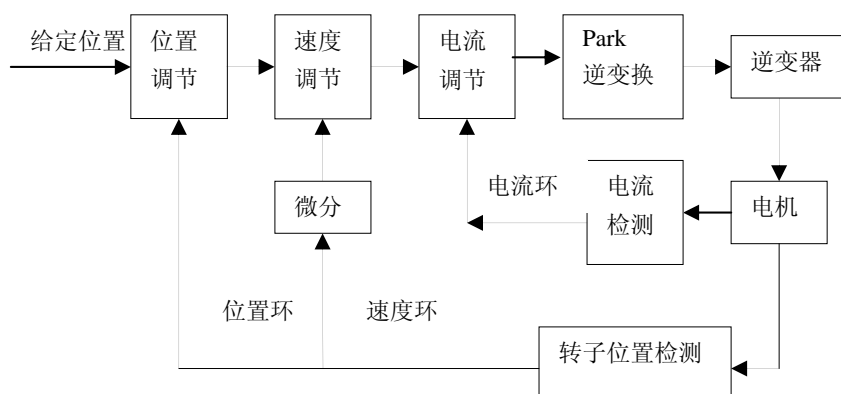


图 1 闭环控制系统控制框图

Fig.1 Structure of closed loop controlling system

程中各关节电动机的位置指令值。利用 DSP 运动控制器作为底层控制器,通过串口接收上位机的位置信号,运用矢量控制算法完成关节电机的运动控制。

该控制系统中采用三闭环(电流环、速度环、位置环)位置伺服控制方案,以保证控制系统的位置精度,使机器人末端执行装置能准确的运动到所要采摘的草莓的位置。系统控制框图如图 1 所示。

永磁同步电机的转子用永磁钢取代了普通同步电机的励磁绕组,省去了励磁线圈、励磁电源和电刷,具有结构简单、动态响应快、定位准确的特点^[5]。本课题拟采用安川公司的交流伺服电机作为执行电机。

DSP(Digital Signal Processor)芯片^[6],如TMS320X240X系列,内部集成了专用外设、具有硬件乘法器,采用哈佛结构,采用流水线操作的指令系统,并且采用特殊的DSP指令,从而具有快速指令周期,高速运算和进行大量数据处理的能力,可实现复杂控制算法,特别适合采摘机器人的控制。因此,本研究采用TI公司的TMS320LF2407A型DSP芯片作为控制器的处理器,在关节控制中可以用来完成Clarke变换、Park变换、Park逆变换、PID控制等功能。

本研究中采用直轴电枢电流为 0 的控制策略^[7]即PMSM定子电枢电流在控制过程中始终等于 0,定子电流中只有交轴分量,且定子磁动势空间矢量与转子永磁体磁场空间矢量正交,电动机转矩中只有永磁转矩分量,电磁转矩与交轴电枢电流幅值成正比,控制转矩的大小实际上就落实到控制定子电流幅值的大小。本课题采用的交流伺服电机是表面凸极式PMSM,采用直轴电枢电流为 0 的控制策略时,单位定子电流可获得最大的转矩,铜耗下降,效率有所提高。

3 草莓采摘机器人关节控制器硬件结构设计

本课题采用矢量控制方法,通过 DSP 芯片中的事件管理器提供的脉宽调制信号来控制

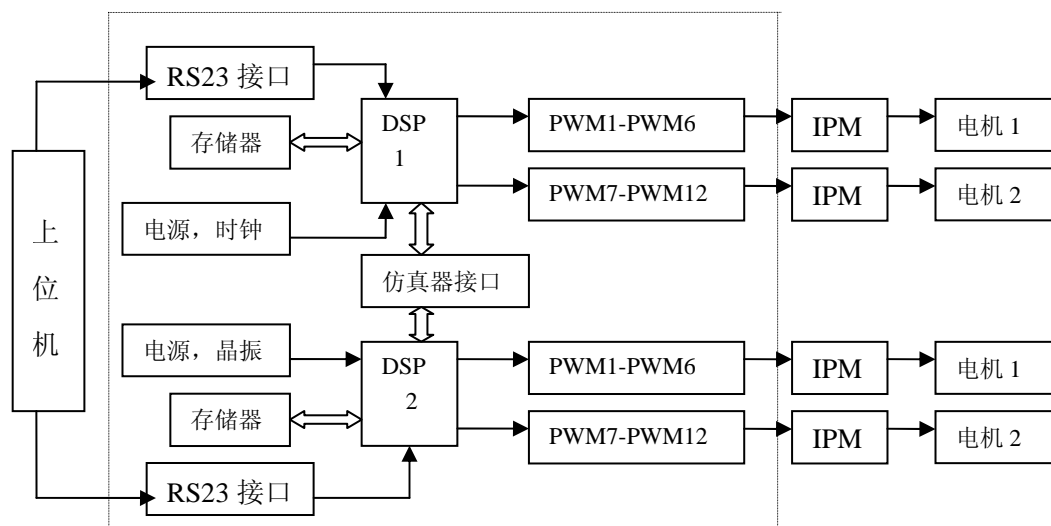


图 2 关节控制器硬件结构图

Fig.2 Hardware structure of joint controller

智能功率模块中晶体管的通断,进行电机的控制。每片 DSP 芯片只含有 2 个事件管理器,最多只能控制 2 个伺服电机。因此,需要用 2 片 DSP 芯片来控制 4 个交流伺服电机。关节控制器硬件结构示意图见图 2,虚线框内为核心控制板。DSP1 和 DSP2 各用来控制两个电机,DSP1 与 DSP2 通过 RS232 串口和上位机之间通讯。整个控制板主要有 4 个部分:电源转换电路、时钟电路、存储器扩展电路、JTAG 仿真接口电路和 RS232 接口电路。

3.1 电源转换电路设计

本驱动控制板使用 TPS76833QPWP 元件作为 5V 到 3.3V 的转换芯片,为 DSP 提供 3.3V 的工作电压。在每个 DSP 电源引脚附近添加一个 0.1 μ F 的陶瓷电容,提高系统的抗干扰性。

3.2 时钟电路与复位电路的设计

DSP 正常工作需要提供时钟电路,在本系统中,DSP1 的时钟采用 15MHz 的晶体振荡器,利用 LF2407A 内部锁相环,通过设置 PLL 倍频系数,得到 30MHz 的时钟作为 DSP1 工作时钟。利用 DSP1 的引脚 CLKOUT 输出 DSP1 的 CPU 时钟作为 DSP2 的工作时钟,保证了系统时钟上的同步。复位电路采用上电复位方式,系统上电时复位,对一些寄存器进行初始化设置。

3.3 存储器扩展电路设计

本控制板使用 ISSI 公司 IS63LV1024-10J 存储器芯片,该芯片是 128K \times 8 位的高速静态 RAM,两片一起构成了 128K \times 16 位的存储空间。DSP1 的数据选通引脚接到 IS63LV1024-10J 的 A16 地址线来分开程序空间和数据空间。数据区为 RAM 的前 64K 字(0000h-FFFFh),程序区为 RAM 的后 64K 字(1000h-1FFFFh)。DSP2 进行同样的扩展。

3.4 JTAG 仿真接口和 RS232 接口

电路板上设计了一个用于调试的标准 JTAG 仿真接口。电路板上设计了异步串行接口,通过 MAX232 芯片完成 5-V TTL/CMOS 电平到 RS232 电平的转换,实现 DSP 与上位机的串行通讯。

3.5 功率放大模块及隔离电路设计

本控制系统中功率驱动电路采用 ACPM750E 集成化功率模块,其开关频率可达 24KHz。带有增量编码器接口,电机相电流和直流母线电压反馈信号接口。另外还有短路,接地,超温,过压,过流保护功能。

DSP 芯片的事件管理器输出的脉宽调制信号(PWM)在进入智能功率模块(IPM)前需要通过高速光耦 6N137 进行隔离,从 IPM 输出的电机三相电压在输出前也要进行光耦隔离。

4 草莓采摘机器人关节控制器软件设计

控制系统软件分为前台人机交互操作和后台运动控制函数两部分^[4]。前台软件利用

Microsoft Visual C++应用软件开发；后台则应用C语言编写运动控制库函数，前台指令通过调用后台的库函数来完成相应任务。

4.1 操作平台

用户操作平台是基于 Windows XP 操作系统环境下应用 Microsoft Visual C++ 6.0 软件开发的，其主要功能是：各种常用控件，如启动机器人运动、停止机器人运动；对系统的可控参数进行调节（如对各个关节的 PID 控制参数进行设置）；各关节的位置、速度信息显示；实现 PC 机与 DSP 运动控制器之间的串口通讯。

4.2 上位机程序

上位机程序工作在 PC 机上，根据给定末端执行器相对于基坐标系的位姿，规划出运动过程中各关节电动机的位置指令值。主要包含回零、限位、直线、圆弧插补自动加减速控制等函数。

4.3 DSP 控制器程序

DSP控制器程序包含三个程序文件：对DSP寄存器等进行定义的.h头文件；配置系统存储器方案的.cmd链接器命令文件；系统的主程序^[7]。系统的主程序包括对DSP其外围器件的初始化，中断允许的设置，运行参数和控制循环标记的设置，然后进入后台，等待响应中断，运行中断服务程序。中断服务程序流程框图如图 3 所示，包含完整的矢量控制算法，在每次 PWM下溢时间发生时均被唤醒执行。

5 实验

实验选用 SGMAH-01AAA41 型交流伺服电机，实验系统由采摘机器人机构本体、PC 机、控制板、ACPM750E 驱动器和电机构成。准确性是采摘机器人关节控制器的最重要性能指标，因此在这里主要测试控制器运动的准确性，测试方法是：给出机器人基座系中的一个位置点（不包括零位点），到达设定的位置点后，停止运动，测量机械手在机器人基座系中的实际位置，重复测量 10 次。实验 10 次的测试结果如表 1 所示。分析表 1 实验数据得到机器人在 X、Y、Z 三个方向上的误差均在 $\pm 1.0\text{mm}$ 。

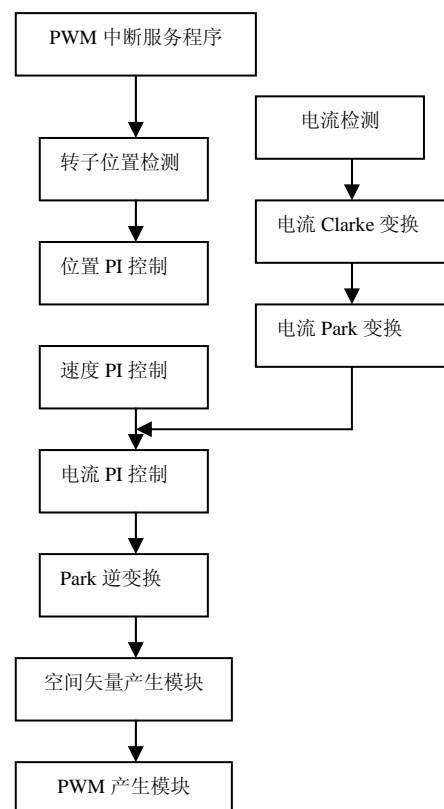


图 3 中断服务程序流程框图

Fig.3 Software course of interrupt service

表 1 重复定位精度检测结果
Tab.1 result of repeated precision measure

设定位置	(200, 100, 10)	6	(200.5, 100.2, 9.3)
1	(199.4, 99.8, 9.5)	7	(200.4, 99.8, 9.1)
2	(200.5, 99.7, 10.2)	8	(199.3, 99.5, 10.8)
3	(200.9, 99.1, 10.6)	9	(199.8, 100.6, 9.9)
4	(199.3, 99.5, 10.7)	10	(200.8, 100.5, 9.7)
5	(199.5, 100.2, 9.7)		

6. 总结

实验结果表明基于 DSP 的草莓采摘机器人关节控制器重复定位精度为 $\pm 1.0\text{mm}$ ，满足采摘机器人的精度要求。

参考文献

- [1] 袁国勇. 农业收获机器人的技术特点及发展现状[J]. 科技论文在线, 2005.10: 1~2.
- [2] 张铁中, 陈利兵, 宋健, 等草莓采摘机器人的研究: II. 基于图像的草莓重心位置和采摘点的确定[J]. 中国农业大学学报, 2005, 10 (1): 48~49.
- [3] 王树才. 工业机器人的应用领域、特点及支撑技术[J]. 华中农业大学学报, 2005.10: 88~89.
- [4] 宋健. 开放式茄子采摘机器人关键技术研究[博士学位论文][D]. 北京: 中国农业大学, 2006.
- [5] 谢宝昌, 任永德. 电机的DSP控制技术及其应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005: 300~302, 315~318.
- [6] [美]Texas Instruments Incorporated著. MS320LF/LC24系列DSP的CPU与外设[M]. 徐科军, 张兴, 等译, 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [7] 韩安泰, 刘峙飞, 黄海. 控制器原理及其在运动控制系统中的应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003: 389~390.

The research of joint controller of strawberry picking robot based on DSP

Dai Liujiang, Zhang Tiezhong, Yang Li

Department of Agricultural Engineering, China Agricultural University, Beijing PRC, 100083

Abstract

This paper takes the permanent magnetic synchronous motor as motivity, adopts the position servo control strategy of three closed-loop control; adopts the vector control strategy of zero straight axis electric current. Manufacturing motion control board with DSP for processor, using ACPM750E as the motor power driver and amplifier, design the software of the control system. Experimental results showed that the controller based on DSP achieved high position accuracy with position detecting errors in 1.0 mm.

Key words: motor controller, vector control, PMSM, DSP