

文章编号: 1002-0446(2002)02-0134-06

基于 DSP 的工业机器人控制器的设计与实现*

谈世哲 梅志千 杨汝清

(上海交通大学机器人研究所 上海 200030)

摘要: 提出了一种基于 DSP 技术的工业机器人控制器的设计, 该控制器采用一台工业 PC 机以及一块 DSP 多轴运动控制卡, 较好地实现了机器人的实时控制, 提高了机器人控制器的运动控制性能, 最后给出了相关的实验和结论。

关键词: 机器人控制器; DSP 数字信号处理; 实时控制

中图分类号: TP24 **文献标识码:** B

DESIGN OF INDUSTRIAL ROBOTIC CONTROLLER BASED ON DSP

TAN Shi-zhe MEI Zhi-qian YANG Ru-qing

(Robotic Institution of Shanghai Jiaotong University Shanghai 200030)

Abstract: This paper describes the design of industrial robot controller based on the DSP technology. Robotic real-time control was realized by industrial PC and DSP motion control card. This method improved the performance of robotic controller. Finally this paper gives some experimental results and conclusions.

Keywords: Robot controller, DSP, real time control

1 引言 (Introduction)

机器人控制器是机器人信息处理和控制的主体, 其设计好坏将决定机器人系统的整体行为和整体性能。早期的机器人, 特别是工业机器人所采用的控制系统基本上是设计者基于自己的独立结构而开发的, 它采用了专用计算机、专用机器人语言、专用操作系统、专用微处理器, 这种“专用计算机如 PUMA 中采用 PDD-11 作上层主控计算机, 专用机器人语言(如 VAL)以及通用微处理器并将控制算法固定于 EPROM”中的封闭式结构限制了它的可扩展性和灵活性。这种封闭式结构具有特定的功能、特定的使用环境, 不便于对系统进行扩展和改进。其软件的独立性差, 软件结构及其逻辑结构依赖于硬件基础, 难以在不同的系统间进行移植。因此, 开发具有开放结构的机器人控制器成为国内外机器人研究的一个方向。机器人控制器的计算机系统结构目前一般认为有三种结构类型: (1) 集中控制方式, 利用一台微型计算机实现全部功能, 这种方式具有结构简

单, 经济的特点, 但处理能力有限, 难以满足高性能的控制要求。(2) 主从控制方式: 用主从两个 CPU 进行控制, 主 CPU 用于坐标变换, 轨迹生成等, 从 CPU 用于机器人各关节控制。(3) 分级控制方式, 采用多个微机分为两级控制。上级主控计算机负责整个系统管理, 下级则实现对各个关节的插补运算和伺服控制。中科院沈阳自动化所以及中国科学院机器人学开放研究实验室提出了一种基于 PC 平台的机器人控制器的设计, 其结构就采用了上下两级计算机系统完成对机器人的控制。这里通过采用一台工业 PC+ DSP 运动控制卡的结构来实现机器人控制。实验结果证明了采用 PC+ DSP 的计算结构可以充分利用 DSP 运算的高速性, 并能满足机器人控制的实时需求, 实现较高的运动控制性能。

2 DSP 运动控制卡的设计 (Design to motion control card based on DSP)

图 1 为 DSP 多轴运动控制卡的硬件原理图, 图

* 基金项目: 国家“211”智能机器人子项目。

收稿日期: 2001-07-10

中的增量编码器的 A0(/A0)、B0(/B0)、C0(/C0) 信号作为位置反馈, 运动控制卡通过四倍频、加减计数器得到实际的位置, 实际位置信息存在位置寄存器中, 计算机可以通过控制寄存器进行读取. 运动控制卡的目标位置由计算机通过机器人运动轨迹规划求得, 通过内部计算得到位置误差值, 再经过加减速控

制和数字滤波后, 送到数模转换(DAC)、运算放大器或脉宽调制器(PWM) 硬件处理电路, 转化后输出伺服电机的控制信号或 PWM 信号. 各个关节可以完全独立伺服控制, 能够实现线性插补控制、二轴圆弧插补控制. DDA 插补的时间为 1ms, 四轴的最小伺服刷新时间为 400us.

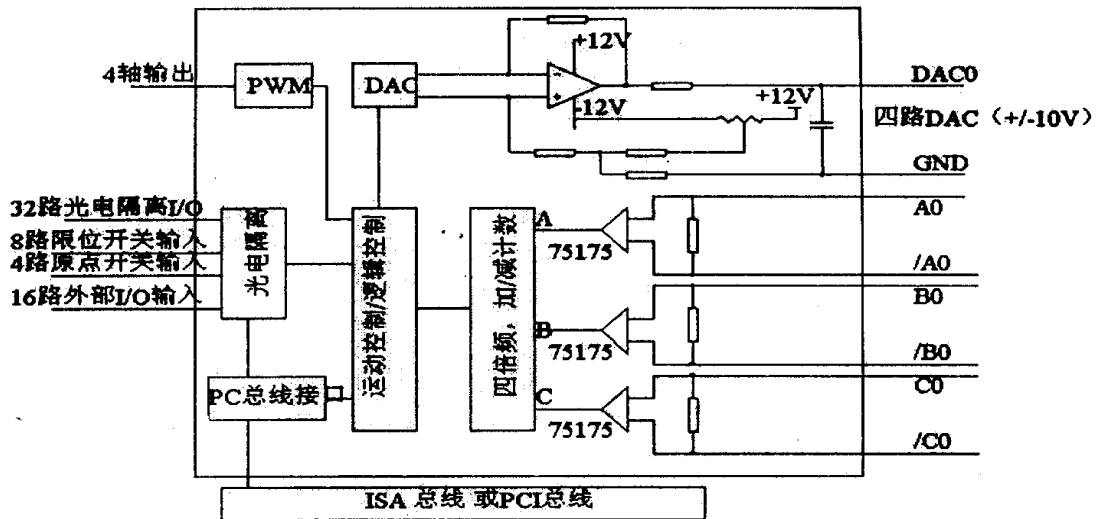


图 1 DSP 运动控制的基本原理

Fig. 1 The architecture of the DSP motion control

这里设计了四种运动控制方式, s-曲线模式、梯形曲线模式、速度跟踪模式以及电子齿轮模式. 图 2 为典型的 s-曲线模式控制曲线, 运动控制在开始加速的 1 区, 加速度从 0 开始, 以设定的最大加速度为目标, 以加加速度 Jerk(单位伺服周期内的加速度增量)为增量递增, 直到达到最大加速度为止. 2 区中,

加加速度为 0, 按已达到的最大加速度加速到第 3 区; 在第 3 区, 按负加加速度使加速度减为零, 使速度达到最大, 完成加速过程. 第 4 阶段为匀速运行, 加速度为 0. 第 5, 6, 7 与 1, 2, 3 相同, 不同的是减速运行到速度为 0. 由于篇幅的关系, 对于其他三种方式在这里不做进一步的讨论.

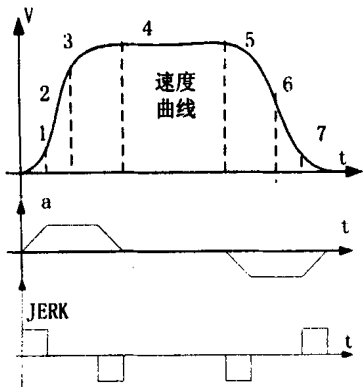


图 2 DSP 运动控制-S 曲线模式

Fig. 2 DSP motion control-S model

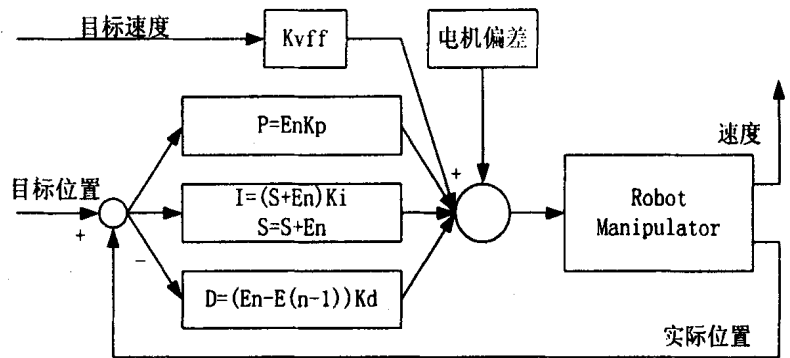


图 3 速度前馈+ PID 调节的控制算法

Fig. 3 Velocity feedforward+ PID control algorithm

3 PID+ 速度前馈控制算法 (PID+ velocity feedforward control algorithm)

为了对系统实现精确而稳定的控制, 控制器中采用了 PID 和速度前馈控制算法, 通过调整控制参数, 可以达到满意的效果. 机器人控制器的控制算法采用了 PID+ 速度前馈的控制算法如图 3 所示. 表 1

为公式参数的定义.
其中

$$E_n = (P_{target})_n - (P_{actual})_n \quad (1)$$

$$U_n = E_n K_p + (E_n - E_{n-1}) K_d + (\sum_n E_n) K_i / 256 + V_{target} K_{vff} / 4 + BIAS \quad (2)$$

表 1 相关参数定义

Table 1 Parameter definition

参数	参数定义	参数	参数定义
U_n	电机输出	K_p	比例增益
E_n	第 n 个采样时刻的位置偏差	K_i	积分增益
$P_{target} P_{actual}$	第 n 个采样时刻的目标位置和实际位置	K_d	微分增益
$\sum_n E_n$	第 n 个采样时刻的误差积分值	K_{vff}	速度前馈增益
V_{target}	当前期望速度	$BIAS$	电机偏值

4 控制器的设计 (Design to controller)

控制器采用了模块化的体系结构. 整个硬件系统以工业 PC 机作为机器人控制系统的硬件平台, 通过 DSP 运动控制卡控制机器人各自由度的动作. 图 4 控制器硬件结构图. 整个系统, 通过 4 轴的运动控

制卡控制机器人各个关节的伺服单元进行工作. 系统通过添置一张网卡, 使机器人具有网络功能, 可以接受来自网上的指令、信息, 并可将自己的状态反馈到网上, 实现远程监控.

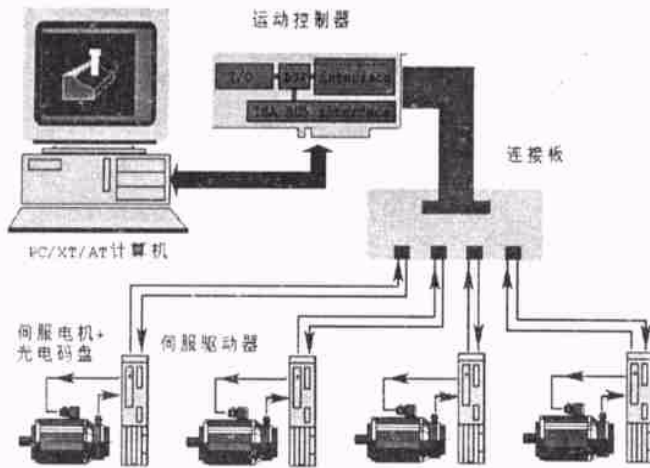


图 4 基于 DSP 的机器人控制器结构
Fig. 4 The architecture of robot

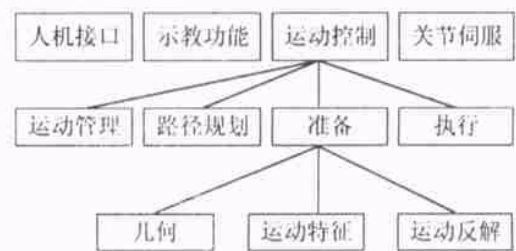


图 5 功能单元的划分(局部)
Fig. 5 Structure of the control system function

软件按照模块化进行设计, 将系统功能划分到不可再分解的离散逻辑单元, 理清各功能模块及各功能元之间的关系, 保证各种控制功能模块既相互独立又能协调工作. 图 5 为机器人控制功能单元的划分. 软件模块主要包括人机接口, 示教功能、运动

控制、传感器信息处理模块等. 对功能进行划分后, 就要对机器人控制器的功能进行建模. 设计中采用了 IDEF 建模分析和设计的方法, 建立机器人功能模型. 图 6 为机器人关节位置控制模块模型, 同样也可建立其他模块.

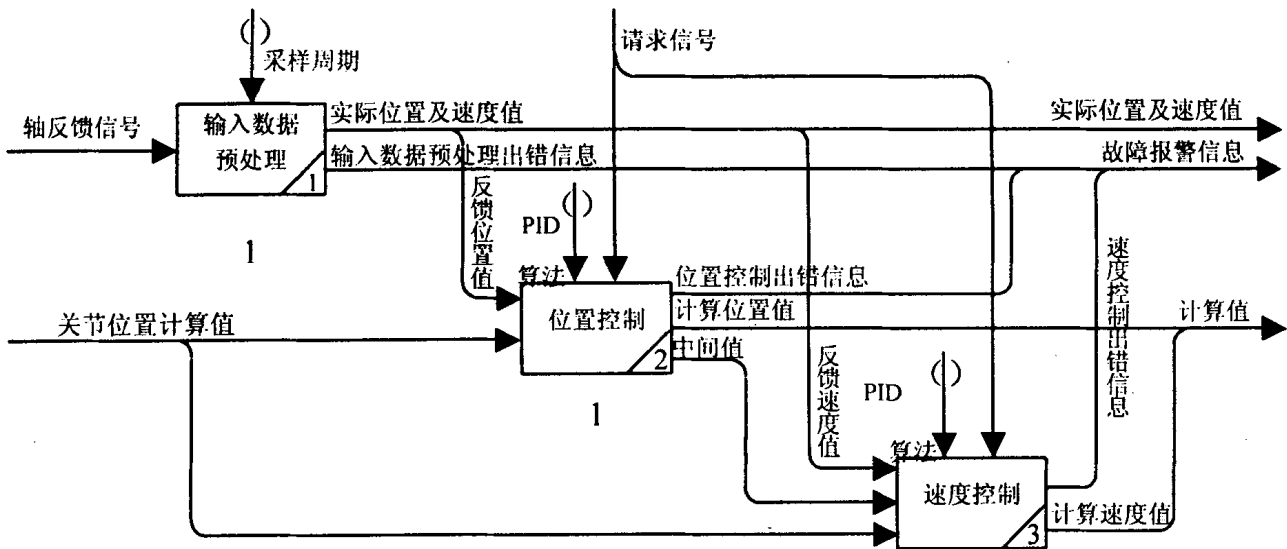


图 6 关节位置控制模块模型

Fig. 6 Block diagram of the joint position control

软件开发中, 选定了 WINDOWS 98 作为软件开发平台, 为了充分利用 32 位 CPU 和操作系统的处理能力, 选择了 Visual C++ 6.0 作为开发工具, 实现软件开发。

5 机器人实时控制的关键技术 (The key technology in the robot real time control)

实时控制在机器人控制中是一个非常重要的问题。目前实时控制中普遍采用中断技术, 通过中断来获取实时时钟。实时时钟在实时控制中处于十分重要的地位, 它负责推进控制过程, 实时采集相关信号, 激活各控制任务等。在 WINDOWS 9x 操作系统中, 实时获得可以有各种方法。设置 WIN32 定时器并通过相应 WM-TIME 消息来进行实时处理, 但是由于 WM-TIME 消息的优先级和未处理消息在消息队列中的组合会造成了系统实时处理的不稳定,

因此这种方法只适应实时性要求不高的场合。如果采用 WINDOWS 多媒体定时器, 通过回调函数可以获得 1ms 的高精度定时信号, 但是这种方法占用了系统宝贵的资源, 而且当定时信号需要提供更高的频率时, 这种方法就无能为力了。为了保证机器人控制的实时性要求, 这里采用了硬件中断的虚拟驱动程序技术 (VxD) 来实现高频率的实时中断。通过 VxD 修改 PC 基板上 CMOS 的可编程计数器, 以获得 2KHz 的系统 08 中断频率, 并截取此中断进行实时调度。通过对此基本定时信号的调度, 以获得对外部多通道的模拟量、数字量的采集、控制算法处理, 控制结构输出等任务。这种方法不需要用户提供附加的硬件定时器。在 VxD 的中断处理函数中可以加入对实时性要求最高的代码, 原则上应尽快返回以提高中断频率。表 2 为通过采用 VxD 的实时中断技术, 所得到多个中断频率。最大的中断时间可以达到 12.5us, 完全适合机器人控制要求。

表 2 获得的 interrupt 频率

Table 2 Interrupt frequency

序列号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
频率 (Hz)	256	128	8192	4096	2048	1024	512	64	32	16	8	4

6 实验及结论 (Experiment and conclusions)

实验以 SCARA 作为机器人机械本体, 主要验

证机器人控制器在采用 PC+ DSP 结构的基础上, 机器人系统各个关节的位置、速度跟踪性能。采用的 SCARA 机器人关节坐标如图 7 所示。实验平台见图

8, 表 3 为实验中采用的 SCARA 机器人本体的相关 的关节坐标参数.

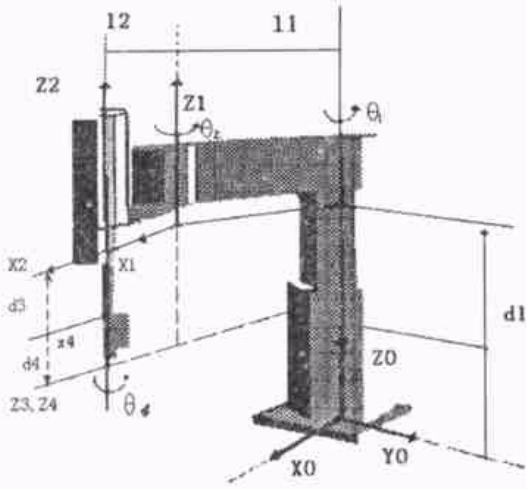


图 7 SCARA 机器人本体关节坐标

Fig. 7 Joint coordinate frames of SCARA robot



图 8 实验平台

Fig. 8 Picture of open architecture

表 3 SCARA 机器人的关节参数

Table 3 Joint parameters of SCARA robot

关节质量(kg)		关节长度(m)		关节惯量(kg·m ²)		关节传动比	
关节 1	15.067	L1	0.35	I1	0.1538	R1	1/100
关节 2	8.994	L2	0.35	I2	0.0674	R2	1/80
关节 3	3.0	L3	0.175	I3	0.045	R3	1/200
关节 4	1.0	L4	0.007	I4	0.016	R4	1/75

对 SCACA 机器人各个关节的速度和位置进行了实验, 图 9 分别表示了 SCACA 机器人各个关节

的速度和位置偏差.

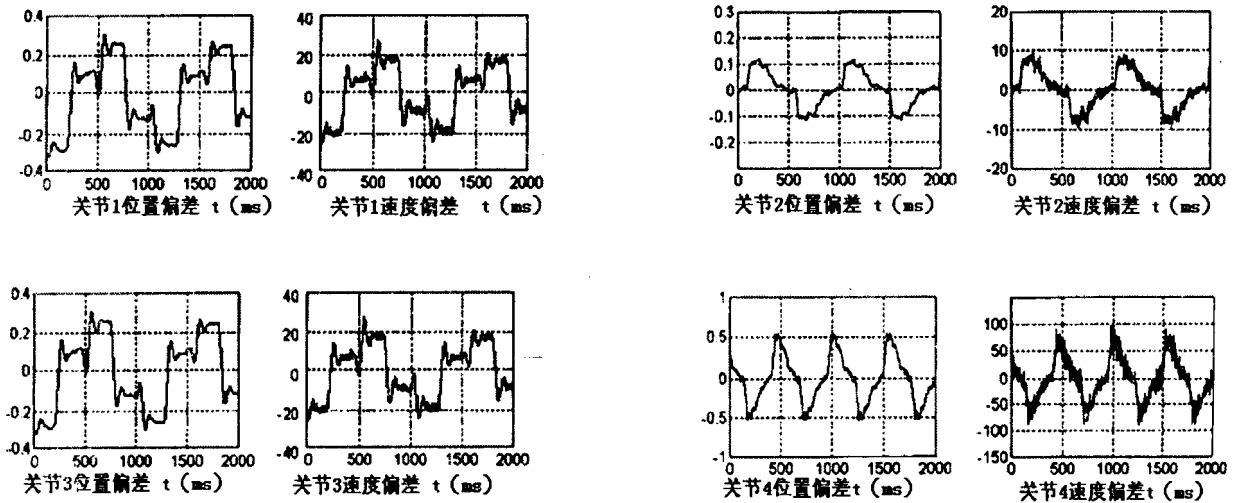


图 9 各个关节的位置以及速度偏差实验结果

Fig. 9 Position and velocity error of four-joint of SCARA robot

实际运行证明该系统具有良好的操作性能,其编程功能也比较完善.此外,由于控制系统的软硬件采用了模块化的结构,使系统易于维护和扩充.系统的控制中采用了速度前馈+PID 调节的伺服控制算法,使系统具有良好的动态性能,从图 9 中可以发现系统具有良好的位置控制和速度控制性能.

在实际运行过程中,发现系统仍然存在着一一定的可靠性等问题,这些都有待进一步的研究和提高.机器人是否先进很大一部分取决于它的控制器,控制器的成本也很大程度地决定了机器人的价格.从目前看来,开放式的机器人系统将会成为一个主流,这里所介绍的基于 DSP 技术的机器人控制器将会对机器人的开发具有重要的参考价值.

参考文献 (References)

- 1 吴镇炜,李斌,卜春光,王超越.基于 PC 平台的机器人控制器设计与实现.机器人,2000
- 2 The NEXUS Open System for Integrating Robotic Software, Jalan A, Fernandez, JAVIER Gonzale. Robotics and Computer Integrat-

ed Manufacturing, 1999. 8(30)

- 3 Ling Y L C, et al. A VLSI Robotic Vector Processor for Real Time Control. Microprocessors and Microsystems, 1989, 13
- 4 Sperling W, Lutz P. Enable Open control system—an introduction to the OSACA system platform, Robotics and Manufacturing, vol. 6 New York: ASME Press 1996
- 5 Wolfe W J, Chun W H. Robot architectures and design paradigms. Proceeding of SPIE Mobile Robot VII Conference, Boston, vol 1831, 1992. 307- 17
- 6 Gentleman W M, Mackay S A, Stewart D A, Wein M. An introduction to the harmony realtime operating system. Newsletter of the IEEE Computer Society Technical Committee on Operating System, Summer 1998. 3- 6

作者简介:

谈世哲 (1971-), 男, 博士研究生. 研究领域: 机电控制, 机器人学.

梅志千 (1964-), 男, 博士研究生. 研究领域: 并联机器人, 机器人控制.

杨汝清 博士生导师, 教授. 研究领域: 机电控制, 机器人学, 机器人控制.

(上接第 129 页)

DARPA 机器人使用的激光测距仪将它的二维数据用来完成运动估计, 制图和定位(见图 6). 将它的三维数据用于特征提取和环境重构(图 7).

总之, 综合立体视觉和激光测距仪, 机器人完成了环境重构. 提高了机器人对外界环境的识别能力.

5 结论(Conclusion)

综上所述, 机器人的感觉网络技术是机器人学领域的新的领域. 如何建立最优的、实现特定任务的机器人是所有对该领域有兴趣的学者研究的方向. 本文提出的网络层次具有新的意义. 样机示例分析表明该领域的研究前景. 开拓了移动机器人的研究领域.

参考文献 (References)

- 1 <http://www.ai.sri.com/~konolige>

- 2 Jose M Carmena, Johe C T Hallam. A Doppler-based motion controller for an echolocating mobile robot

- 3 中科院沈阳机器人学开放研究室. 三自由度全方位移动机器人样机及其控制体系结构. 机器人, 2000, 8

- 4 余杨, 黄惟一. 光电混合处理系统在机器人视觉目标识别中的应用研究. 机器人, 2001, 23(5): 471- 475

- 5 孙龙祥, 程义民, 王以孝, 孙启彬编著. 深度图像分析, 1996

- 6 何友, 王国宏, 陆大, 彭应宁著. 多传感器信息融合及应用. 电子工业出版社, 2000

作者简介:

吴伟 (1969-), 女, 博士研究生. 研究领域: 智能机器人及传感器技术.

司秉玉 (1974-), 男, 博士研究生. 研究领域: 自主机器人视觉导航.

徐心和 (1940-), 男, 教授, 博士生导师. 研究领域: 智能机器人, 计算机视觉与模式识别.