

2001 年上海大学博士学位论文

15

基于视窗平台的机器人 控制技术研究及实现

作者：何永义

专业：机械设计及理论

导师：方明伦



上海大学出版社

2001 年上海大学博士学位论文

基于视窗平台的机器人 控制技术研究及实现

作 者： 何永义

专 业： 机械设计及理论

导 师： 方明伦

上海大学出版社

· 上 海 ·

Shanghai University Doctoral Dissertation (2001)

Windows-Based Robot Control Technology and Implementation

Candidate: He Yongyi

Major: Mechanic Design and Theory

Supervisor: Prof. Fang Minglun

Shanghai University Press

• Shanghai •

上海大学

本论文经答辩委员会全体委员审查，确认符合上海大学博士学位论文质量要求。

答辩委员会名单:

- | | | | |
|-----|------------|---------------|--------|
| 主任: | 周勤之 | 院士, 上海机床公司 | 200063 |
| 委员: | 王先逵 | 教授, 清华大学精仪系 | 100084 |
| | 林之航 | 教授, 西安交大程系 | 710049 |
| | 王庆林 | 教授级研究员, 上海飞机厂 | 200072 |
| | 王诚德 | 教授, 上海大学 | 200072 |
| 导师: | 方明伦 | 教授, 上海大学 | 200072 |

评阅人名单:

周勤之	教授, 上海机床公司	200030
王先逵	教授, 清华大学	100084
段正澄	教授, 武汉华中理工大学	430074

评议人名单:

马登哲	教授, 上海交通大学	200030
高敦嶽	教授, 华东理工大学	200237
郭大津	教授, 同济大学	200092
葛巧琴	教授, 东南大学	210018
张浩	教授, 同济大学	200092
汤天浩	教授, 上海海运学院	200135

答辩委员会对论文的评语

机器人控制器技术是机器人制造的关键技术，基于视窗和 PC 的机器人控制器的研究，对推动我国机器人产业化和国民经济发展具有重要实际应用价值。

何永义同学博士论文学位论文的创新性成果如下：

提出了基于视窗为软件平台，以 PC 为硬件平台，机器人控制器的软硬件体系结构，并研制了基于视窗的机器人控制器；

设计了工作在零环的设备驱动程序，运用了异步多线程设计等技术，解决了机器人控制器的实时性问题，使机器人能完成复杂多任务控制；

实现了基于视窗和 PC 平台的机器人三维实时图形仿真；

运用 Socket 技术，开发了机器人网络通信系统，使机器人具有远程监控和遥操作功能。

论文工作反映了何永义同学在本专业领域具备较宽广的理论基础，掌握了系统深入的专业知识，具备独立从事科学研究工作的能力。论文内容丰富，结构合理，文字流畅，达到了博士学位论文水平。

答辩过程中，何永义同学叙述清晰准确，回答问题正确。

答辩委员会表决结果

通过无记名投票，答辩委员会一致同意通过何永义同学的博士学位论文答辩，并建议授予工学博士学位。

答辩委员会主席：**周勤之**

2001年3月21日

摘 要

本文在广泛收集和综合国内外有关文献基础上,论述了当前机器人控制器的研究现状和发展趋势.提出以工业 PC 微机为硬件平台,以 Windows 操作系统为软件平台,开发研制机器人控制器.为解决基于视窗平台机器人控制器的实时性等难题,深入研究了基于视窗的机器人控制技术,作者成功研制了“基于工业 PC 和视窗 (Windows95/NT) 平台的机器人控制器”.

本文主要研究内容包括:机器人发展状况和趋势、基于视窗机器人控制器的硬件结构和软件结构、基于 Windows 95 设备驱动程序研究及实现、设备驱动程序与应用程序的接口技术、多线程及异步程序设计技术、Windows NT 设备驱动程序设计、机器人控制算法、机器人运动和受力异常检测的智能控制算法及实验、机器人远程监控技术和仿真等.

第一章简述了机器人概况、机器人和控制器的的发展历史和趋势.分析了国内外典型控制器的控制结构,并对 PUMA-560 和我国精密 1 号机器人控制系统的分级控制结构进行了描述,阐述基于视窗和工业 PC 机器人控制器是机器人控制器重要发展方向.

第二章简述了机器人实验平台,机器人控制器主要的硬件和软件组成,论述了机器人控制器硬件组成,硬件具有实时中断功能,详细分析了多轴伺服控制卡及控制器主要硬件的原理功能.

第三章对术语 Win32 及有关特性进行了详细解释.介绍了

机器人控制器控制软件的体系结构, 控制软件的主要组成模块, 详细论述主要模块的功能和特点, 模块间的通信和调度。

第四章分析了 Windows 95 硬件设备驱动程序机制, 对中断、I/O 及 Windows 95 操作系统体系及相关技术进行了分析, 介绍了虚拟机 VM、虚拟机管理器 VMM, 详细阐述了 VxD 的结构及设备驱动程序的设计方法。

第五章论述了多线程技术, 采用多线程和异步设计技术, 加快了应用程序的响应速度, 极大提高了 CPU 的利用率和协调后台任务的能力, 使控制器具有多任务执行的能力。灵活利用异步技术构造了高效、快速、强大和健壮的应用程序。

第六章论述了设备驱动程序与应用程序的通信机制, 实现了中断实时获得数据和快速的响应。针对机器人控制器的伺服控制卡和 I/O 卡, 设计了设备驱动程序与应用程序的接口。并对程序接口进行了封装。

第七章用 D-H 法求解了实验平台 PT-500 机器人控制器的运动控制算法, 采用神经网络设计了智能控制算法, 并阐述了机器人智能控制算法的作用及有关算法程序的设计。

第八章论述了样本如何采集和处理, 多种网络的训练、仿真, 其中 LM 法 BP 网络具有比较快的收敛速度, 仿真结果在误差范围之内, 符合实际输出。所以在机器人运动或受力异常检测中, 选用了 LM 法 BP 网, 实验取得了成功。

第九章详细介绍了机器人网络通信功能的作用及实现手段。简要说明 Windows 95/NT 的通信方式、Winsock 基本原理, 在机器人控制器中采用 Winsock 技术, 使机器人控制器具有网络通信功能, 论述了机器人的三维建模及仿真技术。

第十章简要比较了 Windows NT 4.0 和 Windows 95, 对

Windows NT 4.0 硬件设备驱动程序进行了研究, 并设计了有关设备驱动程序, 实现基于 NT 的机器人控制器。

第十一章对全文进行了总结, 介绍了基于视窗平台机器人控制器的特点和优越性, 并为“基于视窗平台的机器人控制器”的进一步研究, 提出了自己的建议。

关键词 机器人控制器, 实时控制, 虚拟设备驱动, 多任务

Abstract

In this dissertation, the development and trend of robot controller are described; the architecture of robot controller are proposed based on Windows; the robot control technology is lucubrated to ensure the real time control of robot; a Windows-based robot controller is developed and applied to a robot.

The Windows-based robot controller is deeply researched. The main contents in this dissertation are as follows, summarization of robot development history, the hardware composition of the controller, the software configuration of the controller; VxD development based on Windows 95 and Windows NT; the interface technology between virtual device driver and applications; multi-thread and asynchronous design technology; robot motion control algorithms and intelligent control algorithms; robot remote monitor technology etc.

Chapter 1, robot development history and trend are described. The structure of domestic and overseas robot controller, emphasis on PUMA-560 and domestic precision robot No.1, are introduced.

Chapter 2, the experiment platform is illustrated; the controller is consisted of the hardware and software; the construction of hardware of the controller, functions of multi-axis servo-control card and other hardware are analyzed.

Chapter 3, the glossary of Win32 and concerned features are

explicated; the systematic structure and control software modules are introduced; both the functions and features of main modules, the communication and scheduling among modules are illustrated.

Chapter 4, the mechanism of virtual device driver, interrupt, I/O, Windows 95 operation system and relational technology are presented; the concept of VM and VMM are introduced; the structure and the design method of VxD are described in detail.

Chapter 5, multi-thread technologies quicken the response velocity, improve the efficiency of CPU and ability of corresponding background tasks that make the controller having the ability of executing multi-tasks; asynchronism technology is utilized to develop high effective and haleness applications.

Chapter 6, the communication mechanisms between VxD and applications are described in detail. Interface between VxDs (VxD of servo-control card and VxD of I/O card) and applications are developed and encapsulated.

Chapter 7, the robot motion control algorithms and intelligent control algorithms are solved; the function of algorithms is explained; procedures of algorithms are developed.

Chapter 8, samples are collected and neural networks are trained and simulated. The LM BP network has fast convergence velocity; the aim of the simulation experiment is achieved by using the LM BP network; the simulation result are all less than permission errors in abnormality testing of motion and load of robot.

Chapter 9, the network communication functions of the robot controller and means of implementing these functions are presented

in detail; The communication mode of Windows95/NT and the basic principles of Winsock are described; the applications of Winsock are discussed in the robot controller.

Chapter 10, Windows NT is compared with Windows 95; Virtual device drive of Windows NT is investigated and the VxD of servo-card is developed.

Chapter 11, this dissertation is summarized; specifications of the Windows-based robot controllers are illustrated; some proposals are presented based on the controller.

Key words robot controller, real control, virtual device drive, multitask

目 录

第一章 机器人及其控制器概述	1
1.1 机器人概念	1
1.2 机器人发展状况	3
1.3 机器人控制器的结构和概况	5
1.4 小结	12
第二章 机器人实验平台及控制器硬件体系结构	14
2.1 机器人实验平台	14
2.2 机器人控制器的组成结构	15
2.3 小结	19
第三章 机器人控制器的软件体系结构	20
3.1 Windows 9x/NT 操作系统平台特点	20
3.2 控制器主要软件模块及功能	21
3.3 控制软件各模块间的通信与调度	25
3.4 小结	28
第四章 Windows 硬件设备驱动程序实现	29
4.1 保护模式中的硬件访问	29
4.2 Windows 9x 操作系统体系	35
4.3 机器人控制器的 PCL_VxD 的开发	38
4.4 小结	48
第五章 多线程及异步程序设计技术	49
5.1 进程与线程	49
5.2 同步与事件对象	50
5.3 异步型机器人语言程序解释器	51
5.4 小结	55
第六章 设备驱动程序与应用程序接口技术	57

6.1 概述	57
6.2 消息代码与控制功能	59
6.3 封装 DeviceIoControl 的调用界面的 DLL	64
6.4 小结	70
第七章 控制算法	71
7.1 PT-500 机器人运动控制算法	71
7.2 机器人智能控制算法	73
7.3 神经网络简介及学习方法	74
7.4 仿真	84
7.5 小结	85
第八章 样本采集和智能控制算法的实现	98
8.1 样本数据采集及处理	98
8.2 网络训练及结果	100
8.3 网络结构调整	105
8.4 小结	110
第九章 机器人网络通信技术	115
9.1 概述	115
9.2 机器人网络通信	116
9.4 论机器人控制器网络功能的实现	121
9.5 小结	123
第十章 Windows NT 4.0 硬件设备驱动程序设	124
10.1 概述	124
10.2 Windows NT 设备驱动程序的结构	129
10.3 设备驱动程序的编写	133
10.4 设备驱动程中断和 I/O 的实现	139
10.5 小结	143
第十一章 结束语	144
参考文献	147
致 谢	158

第一章 机器人及其控制器概述

1.1 机器人概述

机器人自 20 世纪 60 年代在美国出现以来, 经过了 40 多年的发展, 机器人不但应用于航天航空、工业生产, 而且还应用于服务业、医疗等行业, 在社会发展中起着越来越大的作用. 机器人是在自动操作机基础上发展起来的一种能模仿人的某些动作, 根据可变程序、轨迹和其他要求, 操纵工具来完成多种作业的自动化机电系统. 机器人学是一门多学科的科学, 它横跨计算机科学、控制论、机构数学、机械工程、仿生学和人工智能等多种学科.

机器人技术是一门综合性的技术, 它综合了机械与精密仪器、微电子与计算机、自动控制与驱动、传感与信息处理以及人工智能等多种学科的最新研究成果, 是典型的机电一体化技术. 经济的发展要求各行各业提高自动化程度, 推动着机器人技术的发展, 出现了各种各样的机器人产品. 机器人技术是当今先进的制造技术. 机器人的研究与应用水平, 反映了一个国家经济实力和科技发展水平.

各国对机器人的定义不尽相同, 我国把机器人定义为: 一种能自动检测、可重复编程、多功能多自由度的操作机, 能搬运材料、工件或操持工具, 用以完成各种作业.

国际机器人联合会 (IFR) 在 1990 年对工业机器人下的定义

是：“在工业领域应用的一种自动的、可重复编程的（至少具有三个可重复编程轴）、具有多种用途的机器，这种机器可以固定在地面上或可以进行移动”。

美国机器人工业协会（U.S.RIA）的机器人定义是：工业机器人是用来进行搬运材料、零件、工具等可再编程的多功能机械手，或通过不同程序的调用来完成各种工作任务的特种装置。

总起来说，机器人一般都具有三个共同点：第一，是一种机械装置，可以搬运材料、零件、工具，或者完成多种操作和动作功能；第二，可以再编程，具有多种多样程序流程；第三，有一个自动控制系统，可以在无人参与下，自动地完成操作作业和动作功能。

工业机器人系统由三大部分六个子系统组成。三大部分是：机械部分、传感部分、控制部分。六个子系统是：驱动系统、机械结构系统、传感系统、机器人-环境交互系统、人机交互系统、控制系统。

(1) 驱动系统

使机器人运行起来需要给各个关节即每个运动自由度安置传动装置，这就是驱动系统，它可以是液压传动、气动传动、电动传动，或者三者结合。目前以电动为主，主要有直流、交流伺服系统、步进驱动、直接驱动、异步电机驱动等。

(2) 机械结构系统

由机身、手臂、末端操作器三部分组成。由于目前机器人必须与其周边装置配合使用，才能发挥其作用，所以有时也包括其周边装置。

(3) 传感系统

由内部传感器模块和外部传感器模块组成，可获取内部和