



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

精密机械运动控制系统

王兴松 编著



科学出版社

www.sciencep.com

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

精密机械运动控制系统

王兴松 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书针对机械类专业运动控制课程教学和实践需要,重点介绍了机械运动控制系统的组成原理和具体应用实例。全书共 11 章,内容包括运动控制系统的机械结构、测量传感器、运动控制系统的建模与分析、步进电机运动控制、直流伺服电机运动控制、交流伺服电机运动控制、微位移运动控制等基础知识,还介绍了数控机床进给运动控制系统和机器人运动控制系统。本书内容强调整体建模分析,重视自动化装备运动控制系统的整体设计,在合理介绍基础知识的同时,将多轴联动数控机床、原子力显微镜微位移运动控制、智能仪器设计、移动机器人运动控制系统设计、运动系统非线性处理等前沿技术也融合在相关章节作了较深入的介绍。

本书可以作为机械类专业运动控制、机电控制课程教材,也可供从事数控机床、机器人、自动化装备、纺织机械、轻工机械等相关机械类工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

精密机械运动控制系统/王兴松编著. —北京:科学出版社,2009
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
ISBN 978-7-03-025210-4

I. 精… II. 王… III. 机电一体化-控制系统-高等学校-教材 IV. TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 141025 号

责任编辑:孙明星 匡 敏 / 责任校对:陈玉凤
责任印制:张克忠 / 封面设计:陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

丽源印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 8 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2009 年 8 月第一次印刷 印张:16 3/4

印数:1—3 500 字数:325 000

定价:29.00 元

如有印装质量问题,我社负责调换

前 言

作为传统产业的机械工业,在计算机技术、控制理论、电子电力及传感器技术等技术快速发展的带动下,产品和生产体系结构发生了巨大的变化,机电一体化成为机械系统发展的重要趋势,也是信息技术带动传统机械产业的桥梁。机械运动控制技术作为机电一体化的关键组成部分,是机电一体化技术发展的具体体现和代表。它最初从机床数控、机器人和工厂自动化等技术中抽象发展而来,形成新的专门技术后,又大力促进了这些相关应用技术的发展。

运动控制的学习和掌握对学生从事生产、科研等工作具有重要作用。为了适应新技术发展对人才的需求,在机械电子专业开设机械运动控制课程势在必行。但是,现有运动控制教材几乎全部由电机、电气类专业的“电机与拖动”等教材改编而来,主要应用对象仍然是电机、电气类学生。为此我们针对机械类学生的知识结构特点和需要,编写了这本教材。它有以下特点:

(1) 主要针对机械专业学生编写,从机器人与数控机床控制系统中提炼出来,强调机械运动系统的整体建模、性能及精度分析;强调机电控制中的运动协调与速度规划;强调运动控制系统的设计和使用需要,简化了电机原理及电路设计;力求满足机械类学生对精密运动控制新理论和新技术知识的需求。

(2) 增加了运动控制系统的机械结构设计和传感测量的原理与选择等内容,结合机器人与数控机床等典型运动系统的分析,使学生更深入了解运动控制系统的组成环节、设计方法和精度分析。

(3) 增加直线电机、微位移运动控制系统、精密测量等内容,增加了原子力显微镜微位移运动控制、多轴联动数控机床复杂协调运动控制系统等学科发展前沿成果介绍,体现了机械运动控制在高新技术发展中的价值。

(4) 与科研工作结合,增加了机械硬非线性补偿问题的讨论,并将所研制的活塞环梯形角测量仪、全向足球机器人、SCARA 工业机器人等作为实例介绍分析。

本书的编写得到了王磊、陈林、霍忠良、常国强、贾茜、张晓巧、伏春乾、许加林、夏国庆、曹军、魏涛、贾山、尹清攀、王晨等作者多名博士、硕士研究生的帮助,他们

在前期讲义及本书初稿录入、图形绘制等方面做了大量工作,在此表示衷心感谢。本书的编写得到许映秋教授和东南大学教务处的大力支持,得到毛玉良副教授、田梦倩副教授的支持和建设性建议,在此一并表示感谢。同时也感谢科学出版社编辑们的辛勤劳动和大力支持。

作 者

于南京江宁九龙湖

2009 年 5 月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 机械运动控制系统的内容与分类	1
1.1.1 机械运动控制系统的定义、由来与内容	1
1.1.2 机械运动控制系统的分类	3
1.2 机械运动控制系统的应用	6
1.2.1 运动规划	6
1.2.2 多轴插补	7
1.2.3 电子齿轮与电子凸轮	8
1.2.4 比较输出与同步跟踪	8
1.2.5 精密探针位置测量	9
1.3 机械运动控制系统中的非线性及其补偿	10
1.3.1 机械运动控制系统中的连续与不连续非线性	10
1.3.2 机械运动控制系统中常见不连续非线性及其补偿	10
1.4 机械运动控制系统的发展趋势	12
第 2 章 运动控制系统中的机械结构	16
2.1 滑动螺旋传动与滑动导轨	16
2.1.1 滑动螺旋传动	16
2.1.2 滑动导轨	18
2.2 滚动螺旋传动与滚动导轨	21
2.2.1 滚动螺旋传动	21
2.2.2 滚动导轨	22
2.3 齿轮减速与谐波减速	24
2.3.1 齿轮减速器的型式与应用	24
2.3.2 行星齿轮减速器的传动比计算	26
2.3.3 谐波齿轮减速器	27
2.4 空气静压技术与磁浮技术	29
2.4.1 空气静压技术简介及应用	29

2.4.2 磁浮技术简介及应用	31
第3章 机械运动控制系统中的位置测量	33
3.1 光电编码器	33
3.1.1 增量式光电编码器	33
3.1.2 光电编码器的读数原理	34
3.1.3 绝对式光电编码器	34
3.2 直线光栅尺	36
3.2.1 光栅的概念	36
3.2.2 直线光栅的测量原理	36
3.2.3 直线光栅的信号处理电路	38
3.3 磁栅尺	40
3.3.1 磁栅尺的测量原理	40
3.3.2 磁栅尺的检测电路	43
3.4 激光干涉测量	44
3.5 电容式传感器	46
3.5.1 电容式传感器的工作原理	46
3.5.2 变极距式电容式传感器	47
3.5.3 变面积式电容式传感器	48
3.5.4 电容式传感器的特点	49
3.6 电感式传感器	50
3.6.1 自感式传感器	50
3.6.2 互感式(差动变压器式)传感器	53
3.6.3 涡流式传感器	54
第4章 机械运动控制系统的数学模型	56
4.1 机械运动系统的动力学方程	56
4.2 机械运动控制系统的非线性与线性化	63
4.2.1 典型的非线性系统	64
4.2.2 非线性系统的线性化	67
4.2.3 分析非线性系统的方法	73
4.3 机械运动控制系统中的运动规律设计	75
4.3.1 运动规律的相关概念	75
4.3.2 运动规律的设计	77
4.3.3 运动规律的设计实例——柔性臂残余振动的控制	81

4.4 机械运动系统的惯量等效	84
4.4.1 等效力矩和等效力的计算	85
4.4.2 等效转动惯量和等效质量的计算	85
4.4.3 电机多轴拖动系统等效动力学模型的建立	86
第5章 步进电机运动控制系统	88
5.1 步进电机的工作原理与分类	88
5.2 步进电机的运行特性与控制系统建模	91
5.2.1 静态运行特性	91
5.2.2 单脉冲运行特性	95
5.2.3 连续脉冲运行特性	99
5.3 步进电机的控制电路	105
5.3.1 单电压功率驱动电路	105
5.3.2 高低压功率驱动电路	106
5.3.3 斩波恒流驱动电路	106
5.3.4 双极性驱动电路	107
5.3.5 细分驱动电路	109
5.4 步进电机在自动测量仪器中的应用	109
5.4.1 步进电机的选择	110
5.4.2 步进电机在柴油发动机活塞环梯形角度测量仪中的应用	110
第6章 直流伺服电机运动控制系统	113
6.1 直流伺服电机的工作原理	113
6.1.1 直流伺服电机的基本结构与工作原理	113
6.1.2 直流电机的机械特性	115
6.1.3 空心杯直流伺服电机	115
6.2 直流伺服电机运动控制系统的数学模型	116
6.2.1 电枢控制直流电机的数学模型	116
6.2.2 磁场控制直流电机的数学模型	119
6.3 直流伺服电机的脉宽调制控制	119
6.3.1 脉宽调制的基本原理	120
6.3.2 不可逆脉宽调制调速系统	122
6.3.3 可逆脉宽调制调速系统	124
6.4 无刷直流电机原理	125
6.4.1 无刷直流电机的基本结构	126

6.4.2 无刷直流电机工作原理	126
6.5 直流伺服电机在足球机器人中的应用	129
6.5.1 直流伺服电机控制的一般过程	129
6.5.2 主要部件选择	129
第7章 交流伺服电机运动控制系统	133
7.1 交流伺服电机的工作原理	134
7.1.1 永磁同步电机的结构	134
7.1.2 永磁同步电机的工作原理	137
7.1.3 永磁同步电机的性能	137
7.2 交流伺服电机的运动控制基础	138
7.2.1 电压方程	139
7.2.2 转矩方程	143
7.2.3 状态方程	144
7.3 交流伺服电机的正弦脉宽调制控制	144
7.3.1 正弦脉宽调制波形与等效正弦波	145
7.3.2 产生正弦脉宽调制波形的原理	145
7.3.3 正弦脉宽调制变频器的主电路	146
7.4 交流伺服电机的矢量控制	147
7.4.1 矢量控制的基本原理	147
7.4.2 矢量变换及其实现	148
7.4.3 磁通的检测	150
7.5 交流伺服电机直接转矩控制简介	152
第8章 直线电机运动控制系统	154
8.1 直线电机的结构、工作原理及分类	155
8.1.1 直线电机的基本结构	155
8.1.2 直线电机的工作原理	158
8.1.3 直线电机的分类	162
8.2 直线电机的数学模型	165
8.2.1 直线电机的磁场分析模型	165
8.2.2 永磁式减速直线同步电机的数学模型	168
8.3 直线电机运动控制系统的典型应用	170
8.3.1 直线电机在工业与自动化中的应用	170
8.3.2 直线电机在物料输送与搬运方面的应用	173

8.3.3 直线电机在交通运输业中的应用	175
第9章 微位移运动控制系统	180
9.1 微位移运动控制的原理与应用	181
9.1.1 微位移系统的原理	181
9.1.2 微位移系统的应用	185
9.2 微位移运动系统的结构设计	186
9.2.1 柔性铰链的类型及特点	186
9.2.2 柔性铰链设计	187
9.2.3 精密微动工作台的设计及其特性分析	190
9.3 压电微位移运动控制系统的驱动电路	197
9.3.1 对压电微位移器驱动的要求	197
9.3.2 典型压电陶瓷驱动电路	197
9.4 微位移运动机构的磁滞非线性与补偿控制	201
9.4.1 磁滞非线性系统的建模	202
9.4.2 磁滞非线性系统的控制补偿方法	204
9.5 原子力显微镜的微位移运动控制系统	205
9.5.1 原子力显微镜系统	206
9.5.2 原子力显微镜与其他扫描显微镜的比较	207
第10章 数控机床的运动控制系统	209
10.1 数控机床的构型及其对运动控制的要求	209
10.1.1 数控机床的作用	209
10.1.2 数控机床的基本构成	209
10.1.3 数控机床的类型及其对运动控制的要求	210
10.2 数控机床的运动协调控制	217
10.2.1 控制轴数与联动轴数	217
10.2.2 数控机床轨迹运动控制原理	218
10.2.3 运动速度和加减速的控制	224
10.3 数控车床的运动控制系统	232
10.3.1 概述	232
10.3.2 数控车床的分类	232
10.3.3 主轴传动方式	233
10.3.4 进给运动控制系统	233
10.4 数控铣床的运动控制系统	234

10.4.1	概述	234
10.4.2	数控铣床的分类	235
10.4.3	数控铣床运动部件的布局	235
10.4.4	主传动系统	238
10.4.5	进给运动控制系统	238
第 11 章	操作机器人的运动控制系统	239
11.1	操作机器人的构成	239
11.1.1	操作机器人的构成	239
11.1.2	机器人机械本体的构成	240
11.1.3	操作机器人的分类	240
11.2	操作机器人运动学基础	242
11.2.1	操作机器人运动方程的表示	242
11.2.2	机械手运动方程的求解	243
11.3	操作机器人的运动控制系统	243
11.3.1	机器人运动控制系统的特点	243
11.3.2	操作机器人运动控制层次	244
11.3.3	机器人的运动控制技术	246
11.4	SCARA 机器人的运动控制	249
11.4.1	SCARA 机器人的控制结构	250
11.4.2	SCARA 机器人的运动分析	252
11.4.3	SCARA 机器人的运动方程求解	254
参考文献		257

第 1 章 绪 论

1.1 机械运动控制系统的内容与分类

1.1.1 机械运动控制系统的定义、由来与内容

作为传统产业的机械工业,在新技术革命的带动下,产品和生产体系结构发生了巨大的变化,机电一体化成为机械系统发展的重要趋势。随着计算机技术、控制理论、电子电力及传感器技术的发展,各国的机电一体化产品层出不穷。数控机床、工业机器人、智能机器人、汽车、仪表、家用电器、轻工机械、纺织机械、包装机械、印刷机械、冶金机械、化工机械等众多门类的机械产品,都在机电一体化趋势的带动下,朝着更高水平、更高精度、更高速度发展。机电一体化技术在改善人民生活、提高工作效率、节约能源、降低材料消耗、增强企业竞争力等方面起着极大的作用。

机械运动控制技术(简称运动控制)作为机电一体化的关键组成部分,取得了前所未有的大发展,国内外众多厂家相继推出运动控制的新技术、新产品。简单地说,运动控制就是对机械运动部件的位置、速度等,在自动控制理论的指导下,进行实时的控制和管理,使其在各种驱动装置的作用下,按照预期的运动轨迹和设定的运动参数进行运动。

机械运动控制技术是伴随着数控(CNC)技术、机器人技术(robotics)和工厂自动化技术的发展而发展的。一般,运动控制系统是一个以控制器(如运动控制计算机)为核心,以电力电子功率变换装置(如交流伺服驱动器)为功率放大单元,以机电能量转换装置(如交流伺服电机)为驱动器,以机械执行部件(如滚珠丝杠)为功能实现单元,组成的机械电子系统。图 1-1 是一个工业机器人的运动控制系统构造示意图。

由运动控制器、电子功率驱动单元构成的纯电子系统,常称为通用运动控制器。通用运动控制技术作为自动化技术的一个重要分支,自 20 世纪 90 年代起,在发达国家(如美国)进入了快速发展阶段,具有广泛和强劲的市场需求。近年来,随着通用运动控制技术的不断进步和完善,通用运动控制器作为一个独立的工业自动化控制类产品,已经被越来越多的产业领域接受,并且已经达到引人瞩目的市场规模。目前,国际著名控制系统公司都把通用运动控制系统产品作为一个产品门类大力进行市场开发,如德国西门子、美国国家半导体公司等,都开发了通用运动

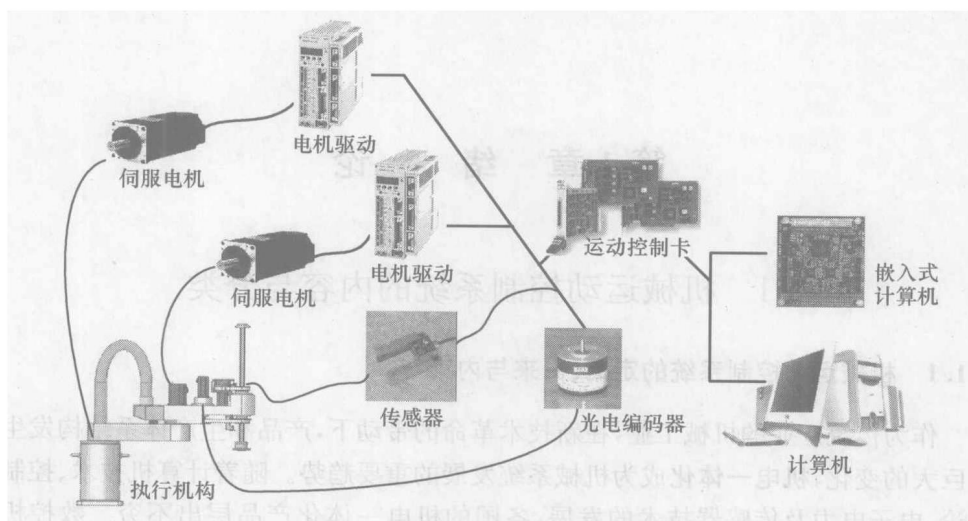


图 1-1 机器人的运动控制系统构造

控制产品,带动了自身和行业的发展。根据近期调查,全球通用运动控制(general motion control,GMC)市场已超过 40 亿美元,并且有望在未来 5 年内年综合增长率达到 6.3%。

广义上讲,所有电机和伺服驱动器、运动控制器、控制计算机、运动测量传感器等的生产厂商都可以称为运动控制产品制造企业;狭义上讲,只有从事运动控制器相关产品开发的企业才能看作运动控制产品制造企业。本书遵循后者定义。

从基本结构上看,一个典型的运动控制系统主要由机械执行机构、功率驱动装置和运动控制器及运动参数测量等四部分构成(图 1-2)。整个系统的运动指令由运动控制器给出,因此运动控制器是整个运动控制系统的核心。对于电机驱动的运动控制系统,控制器按照给定值和实际运行反馈值之差调节控制输出;功率驱动装置按控制量的大小调节电机的供电电压、电流和频率,从而调节电机的转矩或转速;电机则按供电情况拖动机械执行机构中的生产机械运转,完成生产任务。大多数运动控制系统都是闭环控制的,只有少数简单的、对性能要求不高的场合采用开环控制。

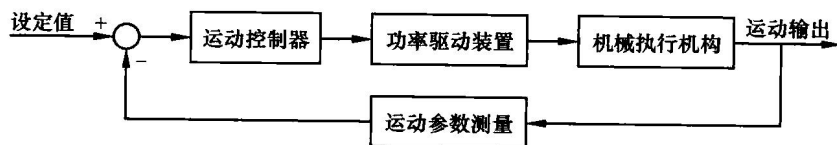


图 1-2 运动控制系统组成

运动控制系统的前向通道的三个主要组成部分是必需的,而且也是变化多样的,如表 1-1 所示。任何一部分的变化都可以改变运动控制系统的功能,而对这三

个组成部分的研究,以及由此而产生运动控制功能的特点和性能的研究,是运动控制系统设计和分析的基础,也是运动控制理论研究的主要内容。

表 1-1 三个部分不同变化情况下的组成

运动控制器		功率驱动装置		机械执行机构	
CPU 技术	控制理论	驱动电器	驱动电路	宏观运动	微观运动
通用计算机	PID	步进电机	可控硅电路	凸轮机构	直接驱动
DSP 技术	模糊控制	直流伺服电机	晶体管电路	曲柄连杆机构	柔性铰链
FPGA 技术	神经网络控制	交流伺服电机	MOS 管电路	齿轮齿条机构	屈曲机构
单片机技术	自适应控制	直线电机	GTR 电路	普通丝杆机构	爬行机构
嵌入式计算机	鲁棒控制	智能材料	IGBT/IPM	滚珠丝杆机构	碰撞机构

例如,一台开放式数控车床的运动控制系统,采用数字信号处理器(DSP)作为控制器的 CPU,采用模糊控制理论,构成运动控制器;采用基于 IGBT 技术的交流伺服电机作为驱动单元;以滚珠丝杆传动带动刀架运动。

现代运动控制技术作为一门专门科学,与数控技术和机器人技术的发展密不可分。数控技术和机器人技术是现代运动控制技术发展的动力和应用目标;微操作技术又为运动控制技术的发展注入了新的活力。

1.1.2 机械运动控制系统的分类

机械运动控制系统种类繁多,用途各异,分类方法多样。

按被控物理量分:以转速为被控量的运动控制系统称为调速系统;以直线位移或角位移为被控量的称为位置随动系统,或叫伺服系统。

按驱动电机的类型分:用直流电机驱动生产机械的称为直传动系统;用交流电机带动生产机械的称为交流传动系统。

按控制器类型分:以模拟电路构成的控制器叫做模拟控制系统;以数字电路构成的控制器叫做数字控制系统。控制器存在反馈元件的称为闭环控制器,没有反馈元件的称为开环控制器;闭环系统中,按照控制系统中闭环的多少,还可分为单环控制器、双环控制器、多环控制器等。

目前,国际上将运动控制器单独作为自动化产品,形成了所谓的“通用运动控制器”,从结构上,通用运动控制器主要分为以下四类。

1. 以单片机或微处理器作为核心的运动控制器

这类运动控制器速度较慢,精度不高,成本较低,在一些只需要低速点位控制和对轨迹要求不高的轮廓控制场合应用。

2. 以专用芯片(ASIC)作为核心处理器的运动控制器

这类运动控制器结构比较简单,大多数只能输出脉冲信号,工作于开环控制方式,可基本满足单轴的点位控制要求,但对多轴协调运动和高速轨迹插补控制则不能使用。这类控制器没有连续插补和前瞻功能(look ahead),对于大量的小线段连续轨迹控制,如模具雕刻,也不能适用。此外,由于硬件资源的限制,其圆弧插补算法常采用逐点比较法,影响了其圆弧插补的精度。

3. 基于计算机总线的,以数字信号处理器(DSP)和现场可编程门阵列(FPGA)作为核心处理器的开放式运动控制器

这类开放式运动控制器以 DSP 芯片作为运动控制器的核心处理单元,以个人计算机(PC)作为信息处理平台,运动控制器以插卡(运动控制卡)形式嵌入计算机,即“计算机+运动控制器”的模式。图 1-3 为运动控制卡的典型结构。

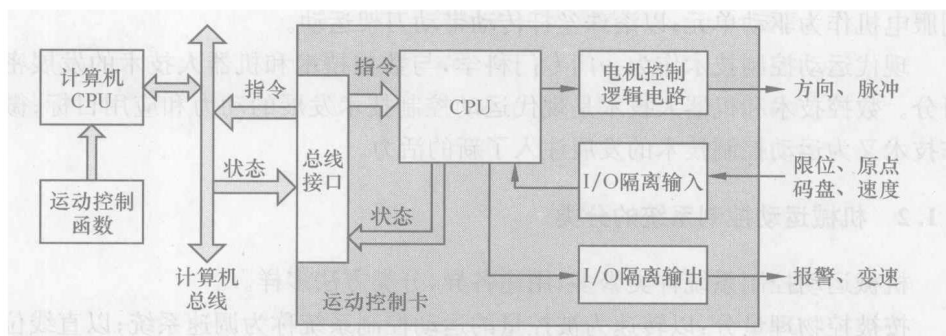


图 1-3 运动控制卡的典型结构

这类运动控制器将计算机的信息处理能力和开放式特点与运动控制器的轨迹控制能力有机地结合,具有信息处理能力强、开放程度高、轨迹控制准确、通用性好的特点。由于充分利用了 DSP 的高速数据处理功能和 FPGA 的超强逻辑处理能力,便于设计出功能完善、性能优越的运动控制器,通常能实现多轴协调运动控制、复杂轨迹规划、高速实时插补运算以及误差补偿和反馈信号滤波等算法,并具有完全闭环控制能力。由于采用 FPGA 技术来进行逻辑电路硬件设计,也满足了运动控制器供应商根据客户的特殊工艺和技术要求进行个性化定制、形成独特产品的需求。

基于计算机总线的运动控制器,由具有开放体系结构的、独立于计算机的运动控制器与计算机相组合而构成。这类运动控制器还具有外部 I/O 标准化接口等功能。它的开放函数库可供用户根据不同的需求,在 DOS 或 Windows 等平台下

自行开发应用软件,组成各种控制系统,如美国 Delta Tau 公司的 PMAC 多轴运动控制器和固高科技(深圳)有限公司的 GT 系列运动控制器等。

这类运动控制器是把计算机嵌入到运动控制器中,能够独立运行。运动控制器与计算机之间的通信依然是靠计算机总线,但它们也采用更加可靠的总线连接方式,以适合工业应用,常采用工业以太网、RS485、PROFIBUS 等现场总线,连接上位计算机或控制面板。它们也可配置软盘和硬盘驱动器,甚至可以通过互联网(internet)进行远程诊断。

目前,一种新的网络化运动控制器已成为研究开发的重点,其特点是运动控制器带有标准局域网接口,其与计算机和电机伺服驱动器之间通过互联网连接,这一种通信方式大大简化了系统构造和维护成本,且使得远程操作和参数设置成为可能。

4. 基于纯软件与通用 I/O 卡的开放式运动控制器

它提供给用户最大的灵活性,它的运动控制软件全部装在计算机中,而硬件部分仅是计算机与通用 I/O 卡或数据采集卡之间的标准化接口,就像计算机中可以安装各种品牌的声卡、CD-ROM 和相应的驱动程序一样,用户可以在 Windows 平台和其他操作系统的支持下,利用开放的运动控制内核,开发所需的控制功能,构成各种类型的高性能运动控制系统,从而提供给用户更多的选择和灵活性。软件型开放式运动控制器的典型产品有美国 MDSI 公司的 Open CNC、德国 PA(Power Automation)公司的 PA8000NT、美国 Soft SERVO 公司的基于网络的运动控制器和固高科技(深圳)有限公司的 GO 系列运动控制器产品等。软件型开放式运动控制器的特点是开发、制造成本相对较低,能够给予系统集成和开发者更加个性化的开发平台。随着实时多任务操作系统的普及和采用,这一模式的运动控制系统将获得更大的发展。

以上第一类运动控制器由于其性能的限制,在市场上所占份额较少,主要应用于一些单轴简单运动控制场合,同时,还面临可编程序控制器(PLC)定位控制模块的激烈竞争。第二类运动控制器因其结构简单、成本较低,占有一定的市场份额,但由于专用芯片(ASIC)能提供运动控制的基本功能,用户自己可以利用该芯片设计专用的控制器而削弱了这类运动控制器的市场份额;第三类运动控制器是目前国内外运动控制器产品的主流,目前国外开放式运动控制器产品已经开始大量进入中国;第四类运动控制器配置灵活、操作方便、价格低廉、可以随计算机系统升级,目前成为研究热点,但是其可靠性、实时性有待提高。

以通用运动控制器为核心的运动控制系统已成为运动控制系统的主流。可以说,运动控制系统的研究内容,主要是运动控制器的研究。

本书以机床、机器人、智能仪器等机电装备中的运动控制系统构建为目标,以

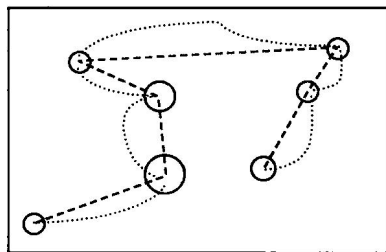
运动控制系统的机械组成为重点,综合介绍运动控制系统的电机与驱动方式选择、传动和导向结构设计、位置测量反馈、运动控制系统的动力学建模与控制、运动控制性能分析问题;并结合最新技术发展,介绍直线电机运动控制系统和微位移运动控制系统,以满足读者对运动控制新技术知识的期望;最后,以数控机床和机器人为对象,分别介绍的运动控制技术在这两类典型机电一体化产品中的应用情况。

1.2 机械运动控制系统的应用

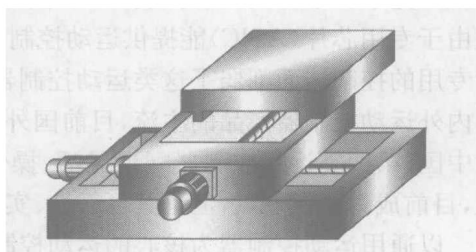
运动控制技术已经成为现代装备制造业的“制利之器”,运动控制器不但在传统的机械数控行业有着广泛的应用,而且在新兴的电子制造和信息产品制造业中也起着不可替代的作用。通用运动控制技术已逐步发展成为一种高度集成化的技术,不但包含通用的多轴速度、位置控制技术,而且与应用系统的工艺条件和技术要求紧密相关。事实上,应用系统的技术要求,特别是行业的工艺技术要求,也促进了运动控制器功能的发展。通用运动控制器的许多功能都是与工艺技术要求密切相关的,通用运动控制器的应用不但简化了机械结构,甚至简化了生产工艺。因此,通用运动控制器在多个行业得到了广泛应用。

1.2.1 运动规划

这实际上是形成运动位置和速度随时间变化的曲线。合理的变化曲线不但可以改善轨迹控制精度,而且还可以降低对传动系统机械零件的要求。通用运动控制器通常可以提供基于冲击(jerk)、加速度及速度约束的运动规划方法,用户可以直接调用相应的函数。对加速度进行约束的运动规划,将产生梯形速度曲线;对冲击进行约束的运动规划,将产生S形速度曲线。对数控机床而言,采用加速度和速度同时约束的运动规划方法,就可获得优良的动态特性。但对高加速度、小行程的快速定位系统,如PCB钻床、SMT机等,其定位时间和超调量有严格要求,往往需要高阶导数连续的运动规划方法。图1-4(a)中的直虚线和点虚线分别表示了孔加



(a)



(b)

图 1-4 平面定位与路径规划及其实现二维移动平台