

国家自然科学基金项目资助

运动控制 系统原理、 结构与设计

宋立博 李劲松 费燕琼 编著

上海科学技术文献出版社

国家自然科学基金项目资助

运动控制 系统原理、 结构与设计

宋立博 李劲松 费燕琼 编著

上海科学技术文献出版社

图书在版编目(CIP)数据

运动控制系统原理、结构与设计 / 宋立博, 李劲松,
费燕琼编著. —上海: 上海科学技术文献出版社, 2009. 1
ISBN 978-7-5439-3673-7

I. 运… II. ①宋…②李…③费… III. 自动控制系统
IV. TP273

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第145686号

责任编辑: 应丽春
封面设计: 诸黎敏

运动控制系统原理、结构与设计

宋立博 李劲松 费燕琼 编著

*

上海科学技术文献出版社出版发行
(上海市长乐路746号 邮政编码 200040)

全国新华书店经销

上海市崇明县裕安印刷厂印刷

*

·开本 787×1092 1/16 印张 19.5 字数 474 000

2009年1月第1版 2009年1月第1次印刷

ISBN 978-7-5439-3673-7

定价: 45.00 元

<http://www.sstlp.com>

前 言

电子技术、微电子技术、通讯技术、传感器技术及现代控制技术的发展和科技进步,促进了运动控制技术和运动控制系统的普及与应用。

运动控制系统是由硬件电路和控制软件组成的复杂系统,几乎涵括了电子、计算机、微电子、传感器、机电一体化和自动控制等全部工科领域。国内外诸多学者从不同领域特色出发,编写了大量 MCU/DSP 运动控制系统设计、控制软件设计、电机拖动、可编程芯片应用及嵌入式控制系统设计类教材,在一定程度上促进了我国运动控制技术的发展。但是,由于国内教育特点、硬件仿真装置费用较高、硬件系统开发周期较长及学位论文过分强调理论创新等原因,电子、自动控制和机电一体化专业等工科毕业生普遍缺乏硬件电路板设计及控制程序调试等基本技能,直接影响了国内教育质量的提高和运动控制技术的工程应用,限制了我国创新能力的提高和具有自主知识产权的高性能运动控制产品的开发。

为提高国内学者对硬件电路设计的重视程度,并进一步领会软硬件协同设计的思路与方法,著者在总结自己学习心得体会与工程项目设计经验基础上编写了本书。按照运动控制系统核心控制芯片、传感与反馈系统、执行与驱动系统、通讯系统、嵌入式与 PC 应用、控制理论与方法及工程实际的顺序,按章节分层次分析与讨论了各部分的应用过程与方法,其具体内容分述于下。

第一章为总论部分,讲述运动控制系统的分类、特点、功能设计和关键技术等有关知识。

第二章为核心控制芯片部分,重点讲述了 ADI 公司 ADSP-21xx 系列高性能 DSP 的体系结构和特点,以及 ADSP-2181 芯片的应用系统设计方法。

第三章为传感与反馈系统部分,重点讲述 ADC 和 VFC 原理、芯片选型方法及常用电学量、机械量和力学量检测方法与系统设计。

第四章为执行与驱动系统部分,重点讲述了直流(伺服)电机与 PWM 和 D/A 控制方法及交流(伺服)电机的恒 U/f 比变频调速与 SPWM 调速、磁链跟踪控制、FOC 和 DTC 控制方法的原理。

第五章和第六章为通讯系统部分,重点讲述了 RS-232,RS-485,CAN,USB 和计算机并行数据通讯系统的原理、芯片选型方法、硬件电路设计方法和程序设计方法。

第七章和第八章为可编程芯片与嵌入式系统部分,重点讲述了 Lattice 公司 GAL16V8 GAL 芯片、ST 公司 PSD813Fx PSD 芯片、Altera 公司 EPM7128 CPLD 芯片和 EPF6016 FPGA 芯片的体系结构和系统设计方法。

第九章为 PC 应用部分,重点讲述了微机原理、ISA 总线与板卡设计原理、PCI 总线与板卡设计原理及基于 WDM 模型的驱动程序设计方法。

第十章和第十一章为控制理论与方法部分,重点讲述了 PID 控制方法的原理与应用方法、模糊控制技术基础与控制器设计方法及在倒立摆运动控制系统中的应用。

第十二章和第十三章为工程实例部分,重点讲述了溜冰机器人运动控制系统、AGV 运动控制系统、多机器人系统吊装实验平台、倒立摆和旋翼直升机运动控制系统的设计方法、思路和过程,为 PLC、高速 51 单片机、数据采集控制器、固高运动控制卡和 DSP 的综合应用。

根据分工和专业特点,第五章、第六章由费燕琼编写,第十章、第十一章由李劲松编写,其余章节由宋立博编写(李劲松提供了 13.2 节素材和内容,田磊提供了 13.1 节素材和内容)。

本书既是著者从事教学、科研和工程设计的经验总结,也希望能够为国内相关领域和方向的本科生、硕士研究生、博士研究生和工程设计人员从事工程设计时提供较新的设计资料、思路以供参考。

部分参考资料来源于固高公司技术材料、各公司网站、互联网和已公开出版和发表的专著和学术论文,但可能因疏忽原因未在参考文献中一一注明,在这里一并表示歉意并致以诚挚的谢意。再次声明,即使未予标注也仅因为疏忽或校正原因,非抄袭、剽窃和作者故意未予标注之意。对于本书中表格中列出的芯片资料,均以当时最新的英文技术资料 and 勘误表为准。在英文资料与勘误表不符时,则以勘误表为准。

本书在编写过程中得到上海交通大学工程训练中心和国家自然科学基金委员会的支持,也得到上海科学技术文献出版社应丽春编辑的大力支持和帮助,一并表示诚挚的谢意。

限于作者水平和经验,书中缺点和错误在所难免,欢迎读者批评指正。

著 者

目 录

前言	1
第一章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 运动控制系统分类与特点	3
1.3 运动控制系统功能设计	8
1.4 运动控制系统设计关键技术	9
1.5 最新进展	10
1.6 本书章节安排	12
第二章 ADSP-2181 原理与系统设计	13
2.1 ADSP-21xx 系列定点 DSP 结构	13
2.1.1 基本内核结构	13
2.1.2 21xx 系列定点 DSP 结构与选型	14
2.1.3 21xx 系列定点 DSP 特点	17
2.2 ADSP-2181 应用系统设计	20
2.2.1 2181 资源	20
2.2.2 2181 应用系统设计	22
2.3 ADSP-2181 PM/DM/IO 扩展	25
2.3.1 2181 基本系统配置	25
2.3.2 程序存储器(PM)扩展	27
2.3.3 数据存储器(DM)扩展	28
2.3.4 I/O 扩展	28
2.3.5 复合存储器扩展	29
2.4 ADSP-2181 DMA 功能与扩展	31
2.4.1 BDMA 功能	31
2.4.2 IDMA 功能	32
2.4.3 总线请求与确认	36
2.5 ADSP-2181 串口扩展	37
2.6 本章小结	38
第三章 传感与反馈系统	39
3.1 转换原理与结构	39
3.1.1 A/D 转换原理与结构	40

3.1.2	V/F 原理与结构	43
3.2	常用转换器选型	44
3.2.1	A/D 转换器选型	45
3.2.2	V/F 转换器选型	51
3.3	电学量检测原理与系统设计	51
3.4	机械量检测原理与系统设计	52
3.4.1	位移/位置量检测方法	52
3.4.2	速度量检测方法	56
3.4.3	加加速度量检测方法	56
3.5	力学量检测原理与系统设计	57
3.6	传感与反馈系统设计注意事项	58
3.7	本章小结	60
第四章	伺服电机与运动控制系统	61
4.1	驱动电机分类与选择	61
4.2	直流电机与伺服驱动	62
4.2.1	直流电机控制原理	62
4.2.2	直流电机 PWM 控制	65
4.2.3	直流电机 D/A 控制	75
4.2.4	直流电机混合控制	78
4.3	交流电机与伺服驱动	79
4.3.1	交流异步电机控制原理	79
4.3.2	恒 U/f 比变频调速与 SPWM 调速	80
4.3.3	磁链跟踪控制	84
4.3.4	磁束矢量控制原理与系统实现	85
4.3.5	直接转矩控制原理与系统实现	88
4.4	本章小结	89
第五章	数据通讯系统设计(一)	90
5.1	数据通讯系统结构	90
5.2	RS-232 通讯网络	91
5.2.1	RS-232 硬件电路设计	91
5.2.2	RS-232 数据通讯程序设计	95
5.2.3	RS-232 数据通讯网络实现注意事项	99
5.3	RS-485 通讯网络	100
5.3.1	RS-485 硬件电路设计	100
5.3.2	RS-485 数据通讯程序设计	104
5.3.3	RS-485 数据通讯网络实现注意事项	106
5.4	本章小结	106

第六章 数据通讯系统(二)	107
6.1 CAN 总线通讯网络	107
6.1.1 CAN 硬件电路设计	108
6.1.2 CAN 数据通讯程序设计	115
6.1.3 CAN 数据通讯网络实现注意事项	119
6.2 USB 总线通讯网络	120
6.2.1 USB 硬件电路设计	120
6.2.2 USB 数据通讯程序设计	125
6.2.3 混合式串行数据通讯系统设计	126
6.2.4 USB 数据通讯网络实现注意事项	127
6.3 并行数据通讯系统	128
6.4 本章小结	131
第七章 可编程芯片与嵌入式系统(一)	134
7.1 可编程芯片简介	134
7.2 GAL16V8 芯片系统设计	136
7.2.1 工作模式和组态	137
7.2.2 常用开发工具	138
7.2.3 GAL16V8 开发实例	139
7.2.4 GAL 器件开发注意事项	144
7.3 PSD 芯片系统设计	144
7.3.1 PSD 系列芯片基本特征	145
7.3.2 PSD813Fx 芯片功能	145
7.3.3 PSD813Fx 芯片开发过程	151
7.3.4 PSD 芯片开发注意事项	154
7.4 本章小结	154
第八章 可编程芯片与嵌入式系统(二)	155
8.1 CPLD/FPGA 芯片特点	155
8.2 CPLD 芯片系统设计	155
8.2.1 EPM7128 芯片基本特征	156
8.2.2 EPM7128 芯片功能	157
8.2.3 EPM7128S 芯片开发过程	159
8.2.4 EPM7128S 芯片开发注意事项	168
8.3 FPGA 芯片系统设计	169
8.3.1 FLEX6000 芯片基本特征	169
8.3.2 EPF6016 芯片功能	170
8.3.3 EPF6016 芯片开发过程	171
8.3.4 EPF6016 芯片开发注意事项	176

8.4	本章小结	176
第九章	PC-based 运动控制系统设计	177
9.1	微机原理简介	177
9.1.1	PC 主板结构	178
9.1.2	常用芯片组	178
9.1.3	芯片组架构	179
9.1.4	微机总线	180
9.2	ISA 总线及板卡设计原理	181
9.2.1	ISA 总线特点	181
9.2.2	ISA 总线板卡设计原理	183
9.2.3	ISA 总线板卡常用结构	184
9.2.4	其他 ISA 总线	185
9.3	PCI 总线及板卡设计原理	185
9.3.1	PCI 总线特点	186
9.3.2	PCI 总线板卡设计原理	187
9.3.3	PCI 板卡常用结构	189
9.3.4	其他 PCI 总线	190
9.4	板卡驱动程序设计	192
9.4.1	驱动程序类型	192
9.4.2	WDM 模型结构	193
9.4.3	常用开发工具	194
9.4.4	WinDriver 板卡驱动程序开发	195
9.5	PC-based 运动控制程序设计	198
9.6	本章小结	202
第十章	PID 控制与实现	203
10.1	PID 控制概述	203
10.1.1	PID 控制原理	203
10.1.2	PID 控制特点	204
10.1.3	PID 控制的应用	205
10.1.4	PID 控制器的参数整定	205
10.2	比例(P)控制环节	206
10.3	积分(I)控制环节	207
10.4	比例积分(PI)控制	208
10.5	微分(D)及比例微分(PD)控制环节	209
10.6	比例积分微分(PID)控制	211
10.7	控制方式的选择	212
10.8	PID 控制器的参数整定	213

10.8.1	参数整定的说明	213
10.8.2	临界比例度法	213
10.8.3	衰减曲线法	214
10.8.4	经验法	215
10.9	PID 控制实例	216
10.9.1	系统硬件组成	216
10.9.2	建模与仿真	216
10.9.3	上位机控制的实现	223
10.10	本章小结	223
第十一章	模糊控制技术与实现	224
11.1	概述	224
11.1.1	模糊控制的背景起源及特点	224
11.1.2	模糊控制的发展阶段与应用概况	225
11.2	模糊理论的数学基础	226
11.2.1	经典集合及其运算	226
11.2.2	模糊集合及其运算	227
11.2.3	模糊集合与经典集合的联系	229
11.2.4	关于隶属函数	229
11.3	模糊逻辑与模糊推理	230
11.3.1	模糊逻辑	230
11.3.2	模糊推理	231
11.4	模糊控制技术基础	234
11.4.1	模糊控制基本原理	234
11.4.2	模糊化方法	234
11.4.3	解模糊方法	236
11.4.4	模糊控制规则及控制算法	237
11.5	模糊控制器的设计	239
11.5.1	模糊控制器的基本结构	239
11.5.2	模糊控制器的结构设计	240
11.6	模糊控制应用实例	240
11.7	本章小结	242
第十二章	运动控制系统实例(一)	243
12.1	溜冰机器人运动控制系统实例	243
12.1.1	溜冰机器人原理与结构	243
12.1.2	溜冰机器人非完整运动学状态空间方程	244
12.1.3	溜冰机器人控制系统设计	246
12.2	自动导引车运动控制系统实例	249

12.2.1	AGV 结构与原理	249
12.2.2	运动学假设与分析	250
12.2.3	非完整运动学状态空间的建立	251
12.2.4	AGV 控制器设计	252
12.2.5	运动控制程序设计	257
第十三章	DAS 运动控制系统实例(二)	262
13.1	多机器人协调吊装实验平台实例	262
13.1.1	系统功能与结构	262
13.1.2	硬件电路设计	263
13.1.3	软件设计	266
13.1.4	控制算法	268
13.2	倒立摆运动控制实例	268
13.2.1	单级倒立摆机械系统结构	269
13.2.2	倒立摆运动控制系统	269
13.2.3	运动控制算法	271
13.3	旋翼直升机运动控制系统实例	274
13.3.1	刚体与非完整系统假定	274
13.3.2	非完整运动学状态空间方程的建立	274
13.3.3	基于极点配置法的全状态反馈控制器设计	277
13.3.4	嵌入式运动控制器硬件设计	279
13.3.5	PWM 信号占空比的确定	280
参考文献		284
附录		298

第一章 绪 论

生活质量和水平是现代文明社会和和谐社会的标志之一。作为生产物质资料的生活资料的机器和设备,其自动化程度和加工水平随计算机技术、电子技术、微电子技术、传感技术、通讯技术和控制技术等的发展而日益提高,作为其核心的运动控制系统发挥了重要作用。

本章将在简要介绍运动控制系统定义、分类及其特点的基础上,讲述其功能设计方法和运动控制系统设计涉及的关键技术。

1.1 引言

反馈系统(feedback system)、伺服系统(servo system)和运动控制系统(motion control system)是机电工程和自动化工程教科书和文献资料中经常使用的词汇,是自动化领域重要研究内容之一。自 Motion control 和 Motion control system 定义出现之后,运动控制系统更成为最近几年的新兴研究领域。

反馈原理是自动控制的基本原理之一。所谓反馈原理,就是根据系统实际输出与期望输出之间的偏差,通过适当的控制原理或/和控制方法消除偏差以获得预期系统性能的方法。反馈系统是基于反馈原理建立,并根据系统输出变化信息进行实时调节的自动控制系统。从硬件电路上看,反馈系统由前向通道和后向通道(反馈通道)组成。其中,前向通道完成控制器至执行器之间的控制信号传递,后向通道完成输出至控制器的信号反馈功能。二者通过控制器相连,组成一完整的闭合回路。因此,反馈控制系统有时也称为闭环控制系统,结构如图 1.1 所示。

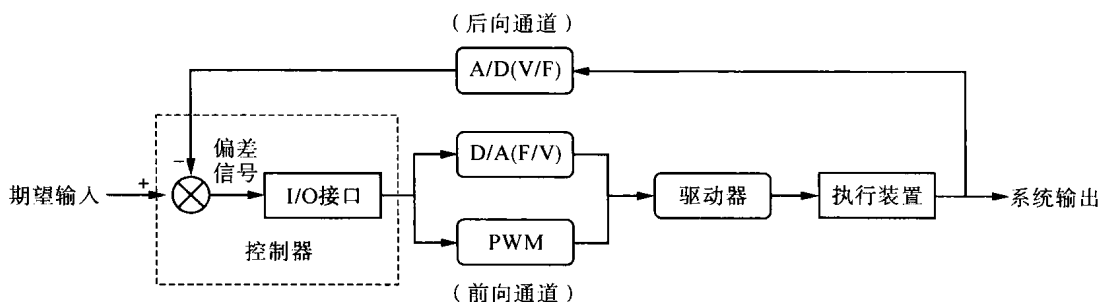


图 1.1 反馈系统结构图

闭环是自动控制系统的基本结构,反馈控制是自动控制系统的主要形式。在现代控制理论中,图 1.1 所示的反馈系统是使用系统输出进行反馈的。更为广义的反馈系统还包括状态反馈和输出至状态变量 $\dot{x}$ 反馈等两种形式,尤其是基于状态反馈的极点配置法更是最常用的现代控制方法之一。

反馈系统的特点在于抗干扰能力强,对通道元件特征变化不敏感。只要输出偏离期

望输出,系统总会产生相应的控制输出和作用将偏差消除至允许误差之内,从而提高系统的动态相应特征。工程上常把使输出量和期望值保持一致的反馈控制系统称为自动调节系统。

一般情况下,伺服系统泛指使输出变量精确跟随输入或复现某个过程的反馈控制系统。在工程角度,伺服系统专指以机械位移(线位移或角位移)、速度或加速度的为系统输出或被控量的反馈控制系统,以使输出的机械位移准确跟随系统输入位移。跟随输入或复现输入过程是伺服系统的基本特征,对机械运动进行控制的伺服系统有时又称为随动系统。

采用伺服系统可以实现:①以 TTL/CMOS 等控制信号控制交流伺服电机等大功率负载;②在无机硬连接情况下,由输入轴控制远端输出轴,实现远距同步传动;③使机械输出位移精确跟踪电信号,如测试仪、指示仪和记录仪等功能。最为典型的伺服系统是火炮控制仪、加工中心、数控铣床、数控车床、雷达天线控制装置和船舶自动驾驶仪等,在制造和军工领域应用最为广泛。

反馈系统和伺服系统一般由传感器、A/D(V/F)转换器、控制器和 D/A(F/V)等器件和电机等执行装置组成。通过传感器和 A/D 转换器将末端执行装置的机械位移转换为电信号送入控制器,加工处理后再经前向通道送至执行装置以实现被控对象输出机械量信号(含位移、速度或加速度)的控制。可以认为,伺服系统是专以机械量信号为输出的反馈系统,二者主要是输出信号的不同而已。

运动控制起源于伺服控制(servo control),其基础理论研究由 H. Hazen 完成。第一门伺服课程和伺服机构实验室由 MIT 的 G. S. Brown 教授开设。

目前,运动控制技术和运动控制系统虽然已经深入到工业生产、国民生产和日常生活的方方面面,但是,运动控制和运动控制系统至今还没有统一的定义。并且,现有的运动控制和运动控制系统定义都有过多的领域和专业特色。

运动和运动控制作为一个技术术语,更是一种狭义的和约定俗成的概念和共识,即“是机械运动过程中涉及的力学、机械学、动力驱动、运动参数检测和控制等方面的理论和技术问题”。

由于机电产品和自动化产品的驱动装置主要为电机,从狭义角度讲,运动控制主要也就是电动机的控制。

从系统角度讲,如上定义都存在一定的局限性和片面性。若将人机界面、执行装置、驱动装置、反馈系统、通讯系统及运行在控制芯片或控制计算机上的控制软件包括在内,运动控制和运动控制系统可以定义如下:

运动控制是指综合运用力学、机械、电子、计算机、信息和自动化等有关技术,采用适当的控制原理、方法,在硬件或软件平台上实现满足精度、响应速度和其他要求的执行装置的位置、速度、加速度、转矩或力的控制。

能够实现运动控制功能的,由人机界面、执行装置、驱动装置、反馈系统、通讯系统及控制软件等组成的系统称为运动控制系统。

在将执行装置的运动转化为驱动电机的运动后,运动控制主要是指步进电机、直流伺服电机或其他电机等执行装置位置、转速、转矩或驱动电压和电流的控制。

在如上定义条件下,运动控制系统典型结构如图 1.2 所示。

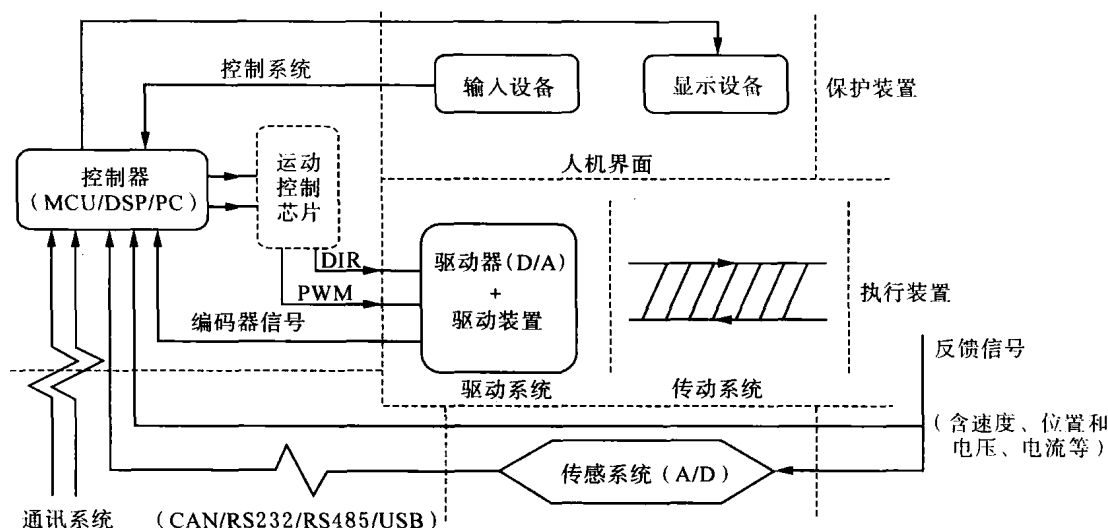


图 1.2 运动控制系统典型结构

具有如上结构的伺服系统称为运动控制系统(motion control system),需完成的功能则称为运动控制(motion control)。军事和宇航领域的雷达天线、火炮瞄准具、惯性导航装置、卫星姿态控制装置,工业领域的数控铣床、数控车床、加工中心、工业机器人、自动导引车 AGV、无人直升机 UAV、自动生产线和装配线、各种加工机械及 VCD、DVD、电视、录像机等家用电器和日常消费电子产品等日常用品皆可纳入运动控制系统范畴。

由如上定义可以看出,运动控制系统是更为复杂的伺服系统,是对伺服系统的扩充与完善。运动控制系统不但具有伺服系统的特点,还具有如下特点:

(1) 运动控制系统不但能以伺服系统的机械量为输出,还能以电量信号为被控对象和输出。

(2) 直接以电机为控制对象的运动控制系统建立在现代控制论基础之上,普遍采用全状态反馈的硬件反馈结构形式和状态空间方程建立系统控制方程,是采用更高级控制芯片和控制方法的高级伺服控制系统。

(3) 运动控制系统不但可以采用常用异步或同步通讯方法,还可以采用总线通讯方式,从而具有更强大的组网能力、网络通讯能力和远程控制能力。

(4) 因采用更高级控制算法,动态响应特征和控制精度更佳,容错能力更强。

1.2 运动控制系统分类与特点

运动控制系统由众多子系统组成,相应的也有多种分类方法。

1) 按驱动装置分类

根据驱动装置的不同,运动控制系统可分为气动驱动、液压驱动和电动驱动三大类。

其中,液压驱动适用于驱动功率大、速度和精度要求较低的场合;气动驱动适用于功率要求较小、速度和位置精度要求较高的场合,如自动装配线的元器件抓取和定位等。

作为流体传动和驱动,液压驱动和气动驱动存在如下缺点:(1) 需要泵站和液压、气动回路和溢流阀、单向阀和减压阀等配套装置和保护装置,系统体积大;(2) 对系统密封要求

高,若是有毒液体和气体容易造成环境污染和人身伤害;(3)即使设置缓冲挡块和制动器等装置,系统冲击较大,维护工作量大。

电动驱动(主要是电机驱动)运动控制系统更易实现与微机和各类总线型微处理器和微控制器的接口,在中小功率的运动控制系统中得到最广泛的应用。本书以电动驱动为例讨论和分析嵌入式运动控制系统设计方法,液压驱动和气动驱动不再赘述。

2) 按所用的控制器类型分类

(1) 以模拟电路硬连线方式建立的运动控制系统

早期的运动控制系统组成形式,一般采用运算放大器等分立元件以硬接线方式构成,优点为:①实时处理输入信号,可实现系统的高速控制;②采样频率较高,带宽较大,控制器精度较高。

因电子元器件的热效应和老化等固有特点,以模拟电路硬连线方式建立的运动控制系统缺点如下:①器件老化和环境温度对电子元器件的参数和影响较大,系统稳定性较差;②采用元器件多,系统复杂、可靠性差;③系统可扩展性较差,难以完成系统升级和功能完善;④难以实现运算量大、精度高和性能更为先进的复杂控制算法。对于一些功能简单的电机控制系统,仍然可以采用分立元件搭建。

(2) 以 MCU/DSP 为核心的运动控制系统

需要说明的是,本书所指 MCU/DSP 是指可作为运动控制芯片使用的芯片。一般情况下,其共同特点为:

① 为提高系统的稳定性、可靠性和安全性,并尽可能减少外围器件数量,集成大容量 E²PROM 或 Flash ROM。

② 一般集成有事件管理器 EV 等 PWM 所需功能,能够在尽可能少占用 CPU 资源情况下实现 8 位/10 位或更高精度的 PWM 输出。

③ 一般集成有电机控制所需的 A/D 功能(对应于旋转电位器位置和速度检测)和 CAP/QEP 功能(对应于编码器位置和速度检测)。

④ 除异步通讯 UART 口(部分芯片称为 SCI 或 SIO)外,集成有同步通讯 SPI 口(SSIO 口)、多通道缓冲同步串口 McBSP(SPORT),I²C,CAN 或 USB 总线中的一种或几种,芯片与外设通讯能力及 Boot 代码引导能力大大增强。

满足如上条件的 MCU/DSP 可称为运动控制芯片,控制功能集成度较高。此外,为便于在 PC-based 系统中使用并简化编程和固化程序,部分运动控制芯片还具有如下特点:

① 部分芯片还集成有 SLP 从口或 IDMA 功能,便于与 PC 机等主控处理器接口并进行大规模数据通讯。

② 具有 JTAG 口、复用的 SPI 口和 ISP/IAP 编程能力,在提高编程效率的同时简化了代码固化程序。

满足如上条件的芯片较多,TI 公司以 TMS320F2407 为代表的 16 位和以 F2812 为代表的 32 位定点 C2000 系列 DSP 最具代表性。

(3) 使用专用控制芯片实现的运动控制系统

根据能否单独运行,是否需要外部控制器,这些芯片又可分为两类。第一类是可独立运行和使用的单片专用控制芯片,第二类是需要外部控制器的 H 桥型专用控制芯片。

单片专用控制芯片价格便宜,无需 MCP/DSP 控制芯片。如果内部集成有 MCU/DSP,

则可称为 ASIC - based 的运动控制芯片。但具有如下缺点:

- ① 控制程序已经固化在芯片内部,难以扩展,系统灵活性较差,升级困难;
- ② 控制程序算法较为简单,控制精度较低;
- ③ 芯片驱动能力较小,需要外接逆变器或驱动装置才可实现控制功能。

为便于与控制器接口,H 桥型专用控制芯片控制引脚大部分采用 3.3/5.0 V TTL/CMOS 电平。其驱动电压可达 30 V 或更高,单路驱动电流可达 3 A 或更大(ST、IR 和 Infineon 公司的汽车用电机驱动芯片单路驱动电流 30 A),可直接与小型直流电机或步进电机接口,但其所需 PWM,使能和方向信号需控制器输入。

(4) 以 CPLD/FPGA 等可编程芯片为核心的运动控制系统

CPLD/FPGA 是继 GAL/PAL 之后发展起来的可编程芯片,在嵌入式系统中得到日益广泛的应用。

利用 Actel,Altera,Lattice,Xilinx 和 Cypress 等公司提供的产品及配套软件,可以方便地使用图形输入(Graphic editor)、符号输入(Symbolic editor)、文本输入(Text editor)、波形输入(Waveform editor)或 VHDL/Verilog HDL 硬件描述语言开发所需的逻辑和控制功能。如果利用 D,T,JK 和 SK 触发器及状态机等内置功能,还可实现更加复杂的时序逻辑、计数器和分频器等功能。一般 CPLD/FPGA 器件内部采用 E²PROM 或 Flash ROM,都具有 ISP/IAP 功能。

采用 CPLD/FPGA 器件和硬件方法实现的运动控制系统具有如下优点:

- ① 系统接口、逻辑变换、时序变换等主要功能都可在单片器件中实现,减少了系统体积,特别适合于体积和重量受到限制的运动控制场合。
- ② 可编程芯片一般具有引脚绑定功能和较好的扩展性和可维护性,无需更动电路板即可实现系统升级。
- ③ 响应速度快,可靠性高,易于实现并行处理。
- ④ Altera 公司 Max7000 系列 CPLD 等器件具有 MultiVolt 功能,在采用不同核电压和引脚驱动电压时,可以实现 5.0 V/3.3 V 之间的信号转换和与 PCI、ISA 总线及 I²C 器件和 UART 输出型器件的硬件接口。

缺点:限于晶体管门数、制造工艺和价格等原因,不宜用于需要完成复杂算法的场合。考虑到系统成本,一般用于实现较为简单的控制算法,实现较为简单的运动控制。

(5) 以 ARM/StrongARM 为核心实现的运动控制系统

ARM(advanced RISC machines)既是一家出售芯片设计技术的授权公司,又是一类微处理器和技术的名称。目前采用 ARM 技术知识产权核(IP)的微处理器,也就是 ARM 处理器,已经遍及工业控制、消费类电子产品、通讯系统及网络系统等产品市场。据统计,基于 ARM 技术的微处理器应用已占据 32 位微处理器超过 75% 的市场份额。ARM7TDMI,ARM7TDMI-S,ARM7720T 及 ARM7EJ 等 ARM7 系列微处理器是工业控制领域最常用的 ARM 低端处理器核。

通过授权和许可方式,Intel,IBM, LG, NEC, SONY、NXP 和 NS 等半导体公司,Microsoft 和 MRI 等软件公司及众多的 OEM 都获得 ARM 公司的技术授权和硬件技术使用许可协议,ARM 也因此成为全球性 RISC 标准。

(6) 以 PC 机为主控装置的运动控制系统

作为一种具有 CPU 和强大运算能力的控制装置,从运动控制系统和嵌入式角度讲,PC

机、笔记本和工控机等“电脑”与 MCU、DSP 及部分运动控制芯片具有几乎完全相同的属性,完全可以作为运动控制系统和嵌入式系统的主控装置使用。与采用 MCU/DSP 为主控器件的运动控制系统相比,以 PC 机为主控装置的运动控制系统具有如下特点:

① 良好的人机界面:与普通 MCU 和 DSP 为主控芯片的运动控制系统和嵌入式系统需要使用外设 I/O 方式外扩键盘输入、LCD 和 LED 等装置为人机界面相比,PC 机等装置可以直接使用键盘、显示器或触摸屏作为与控制系统交互的人机界面使用。

同时,可运行在 PC 机和 Windows 操作系统上的 Visual C++, Visual Basic, C++ Builder 和 Delphi 等软件可以提供文本框 Text、编辑框 Edit、下拉菜单 Menu 等输入控件及 Label 等显示控件,更相当于使用软件方法实现了可替代键盘、LCD 和 LED 等交互功能的人机界面。由于软件的可编程性、易修改性和移植性,使用软件方法实现的“软人机界面”具有更大的柔性和设计灵活性。

② 快速的控制程序设计和调试过程:虽然绝大部分 IT 厂商提供其 MCU 和 DSP C 语言开发环境,例如,51 单片机 Keil C, Franklin C 和 Tasking C51 开发环境,96 单片机 Tasking C96 开发环境, Freescale 公司提供的 CodeWarrior 开发环境, Microchip 公司提供的 Maple 开发环境, TI 公司提供的 CC/CCS 开发环境等,但在实时性要求的运动控制场合和 $\mu\text{C}/\text{OSII}$ 等 RTOS 实时操作系统中,与 CPU 相关的代码仍需使用与芯片相关的汇编语言编写。与使用 VC, VB, CB 和 Delphi 等高级语言相比,直接使用汇编语言开发控制程序较难调试,开发周期长,可维护性较差。

③ 实时、可靠和较强鲁棒性的控制特征:与采用 PC 机为主控装置相比,一般以 MCU 和 DSP 为主控芯片的运动控制系统因抗干扰措施有限、运行速度较低及 ROM/RAM/Flash/E²PROM 等内存空间较小等原因,实时性、可靠性和稳定性相对较差。在飞机飞控、导弹导航、卫星导航和电力系统监控等高可靠性和实时性控制场合,采用 PC 机和工控机等作为主控装置是不二选择。

④ 良好的组网性能:普通 PC 机和工控机一般均配置有 2—4 个 USB 接口, 1—2 个 1394 接口、Bluetooth 和 IrDA 红外等通讯口,尤其是采用 ISA 或 PCI 总线 RS-485、CAN、Profibus 和 FF 等板卡或 10/100 M 网卡时,可以非常容易地构建现场总线式或网络式运动控制系统。

(7) 在通用计算机上实现的“软”运动控制系统:完全由软件构成的控制器是运动控制领域的创新。利用通用计算机高速、高精度和编程环境便捷的特点,编制相应的控制程序与驱动电路板和接口板/卡等硬件装置配合实现一定的运动控制功能。此时,通用计算机是作为控制器使用的。

生产“软”运动控制器软件的厂商主要有:

① Soft Servo Systems 公司:其生产的 ServoWorks 具有用户接口、数据处理、工厂监控、网络通信和文件管理等功能,在 PC 上可以完成包括反馈回路和数控通路的生成在内的全部伺服控制功能。

② National Instruments 公司:NI 公司生产的著名的虚拟仪器软件 LabView 也提供软运动控制器功能。LabView 内嵌的开发工具 Motion Assistant 是一个直观的点击环境,设计人员可根据运动曲线配置和模仿每一个运动动作交互生成动作原型和位置、速度和加速度曲线图表,进而生成虚拟仪器和“代码处方”。

③ Technosoft 公司:Technosoft 公司的 Digital Motion Control Development 平台包