



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLISHING FOUNDATION

“十二五”国家重点图书出版规划项目

先进制造技术与应用前沿

XIANCHANG ZONGXIAN
WANGLUOHUA DUOZHOU YUNDONG
KONGZHI XITONG YANJIU YU YINGYONG

现场总线网络化 多轴运动控制系统 研究与应用

舒志兵 著

上海科学技术出版社



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

“十二五”国家重点图书出版规划项目
先进制造技术与应用前沿

现场总线网络化 多轴运动控制系统 研究与应用

舒志兵 著

上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

现场总线网络化多轴运动控制系统研究与应用/舒志兵著. —上海:上海科学技术出版社,2012. 1

(先进制造技术与应用前沿)

ISBN 978-7-5478-0731-6

I. ①现... II. ①舒... III. ①总线—网络化—多轴向—运动控制—控制系统 IV. ①TP336

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 041505 号

上海世纪出版股份有限公司
上海科学技术出版社 出版、发行

(上海钦州南路 71 号 邮政编码 200235)

新华书店上海发行所经销

苏州望电印刷有限公司印刷

开本:787×1092 1/16 印张:28.25 插页 4

字数:435 千字

2012 年 1 月第 1 版 2012 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5478-0731-6/TP·11

定价:128.00 元

本书如有缺页、错装或损坏等严重质量问题,
请向工厂联系调换

内容提要

本书系统阐述了现场总线多轴运动控制系统的主要内容,重点强调工业应用,剖析了典型现场总线网络化多轴运动控制系统技术方法与应用实例。全书共分10章,内容包括现场总线技术,伺服运动控制算法,网络化多轴运动控制系统硬件设计与实现,基于VC++的网络化多轴运动控制系统软件设计,Elmo 伺服控制系统软件的研究及其应用,Elmo 位置前馈控制建模与系统参数整定,多轴运动控制系统应用于太阳跟踪的案例分析,PCIMC 多轴运动控制卡应用案例分析,多轴运动控制系统在不同工业领域的应用案例分析等。

本书简明易懂、实用性强,可供从事现场总线运动控制系统设计、制造的工程技术人员参考,也可用作大专院校机电类专业机电一体化方向的教材。

编撰委员会

先进制造技术与应用前沿

主 任 路甬祥

副 主 任 李蓓智 曹自强

委 员 (按姓氏笔画排序)

王庆林 石来德 包起帆 严仰光

杜宝江 李 明 李 春 李希明

何 宁 何亚飞 陈 明 阎耀保

葛江华 董丽华 舒志兵

学术专家 艾 兴 汪 耕 周勤之

前言

目前,实用化的现场总线控制系统作为最新型的控制系统,正以迅猛的势头快速发展,它是一种全计算机、全数字、双向通信的新型控制系统。在某些领域,尤其是在制造业与石化工业自动化等领域已有成功应用例子。它在节省控制电缆,缩短设计、安装和调试工期,优化管理,预测检修和预防维修等方面有明显的优越性。它是信息化社会在工业自动化领域的体现,代表了自动化工业发展方向,是现场级设备通信的一场数字化革命。

应该看到,由于信息技术和现代交通工具的快速发展,确实使地球“变小了”,一个新事物的产生,将迅速在我们生活的“地球村”中传开。现场总线控制系统正以比人们想象的要快得多的速度发展,尽快了解它、掌握它,进而开发应用已成必需。

基于上述,并根据第六届全国智能检测与运动控制技术会议的精神及教学改革的要求,按照机械设计制造及自动化、电气工程自动化及机电一体化专业学生的培养目标和要求,由全国 50 多所高校从事运动控制的专家参与,南京工业大学运动控制研究所主持编写了本书。本书涉及现场总线技术、机械电子、伺服系统及检测技术等内容,在介绍现场总线多轴运动控制系统的基本组成、原理、设计方法的基础上,详细介绍了其组成的各个技术模块的性能特点,力求使读者能快速掌握现场总线多轴运动控制系统的设计思路与设计方法,并给出了整体系统的设计原则和技术方法。

在书中,作者将一些介绍现场总线与伺服运动控制系统的技术加以消化、汇总,力图从技术、组织、标准、背景、发展状态等方面来介绍现场总线运动控制系统。在本书编写过程中,注重精炼,将主要内容与基本概念、基本理论和基本方法重新组编,又重点介绍了一些最新工程和技术成果,

满足先进制造技术和现场总线控制技术的发展对专业技术人员培养的要求。

作为专著,作者在文字叙述上力求深入浅出,循序渐进;在内容安排上既注意基础理论、基本概念的系统阐述,同时也考虑到工程设计人员的实际需要,在介绍各种设计方法时尽可能具体、实用。所以本书可以作为广大工程技术人员实际问题时的实用参考书籍。

本书阅读对象也可以为学过机械基础知识、电工电子技术和微机原理等课程的学生,通过本书的学习,他们能融会贯通所学基础知识,综合分析和设计现场总线运动控制系统,掌握现场总线控制系统的共性理论与技术,为开发设计现场总线产品打下基础,使学生真正了解和掌握现场总线运动控制系统的重要实质及总线伺服系统的设计理论和方法,从而能够灵活地运用这些技术进行现场总线和远程网络产品的分析、设计与开发。

本书由南京工业大学运动控制研究所舒志兵所长著。运动控制研究所卢宗春、汤世松、赵李霞、喻刚、高延荣、王刚、张涌松等参与了本书的编写工作,全体同仁完成修改和统稿工作。美国 Rockwell、英国 Trio、Siemens、Fanuc、安川、Lenze、LPK、沈阳莱茵、罗升、南京机床、广州数控、华兴数控、和利时、埃斯顿、研华、Contec、HIWIN、丹佛斯、欧姆龙、三菱、华北工控、中达电通、合展、爱玛、Baldor、北京集科、慧摩森、众为兴、隆创日盛、德国 3S 软件公司、广州机床所、中国自动化网等企业和研究单位提供了大量的支持,天津大学电气与自动化工程学院吴爱国教授、上海交通大学机械学院机器人所熊振华教授、南京工程学院工程中心郁汉琪主任等对本书提出了宝贵的修改建议,在此表示衷心感谢。

限于编者的水平和经验,加之现场总线及其运动控制行业的迅速发展,书中难免存在疏漏和错误之处,敬请广大读者批评指正。

作者

目 录

第一章 绪论 1

第一节 运动控制技术的发展现状	1
一、运动控制系统概述	1
二、运动控制系统的优点	1
三、运动控制系统的组成和功能	2
四、运动控制系统的发展和种类	3
第二节 现场总线在运动控制系统中的应用现状	4
第三节 网络化远程控制系统研究现状	7
第四节 基于 CAN 总线的网络化多轴运动控制系统	8
第五节 多轴运动控制的模式和对通信网络的要求	11
一、多轴运动控制的模式	11
二、多轴运动控制对通信网络的要求	12

第二章 现场总线技术 14

第一节 现场总线技术概论	14
一、现场总线的产生	14
二、现场总线的概念与现状	15
三、现场总线技术特点	16
四、现场总线的发展趋势	18
第二节 CAN 总线	18
一、CAN 总线性能特点	19
二、传输介质和拓扑结构	20

三、数据帧格式	22
四、数据传输机制	23
五、差错控制	25
六、CAN 总线工作原理	26
七、CAN 总线信息发送时序分析	28
八、CAN 总线通信协议	29
九、CAN 总线运动控制系统实时性分析	39
第三节 PowerLink	43
一、PowerLink 简介	43
二、PowerLink 基本原理	47
三、SAFETY 技术	50
四、PowerLink 的特点	51
五、PowerLink 的实现	57
第四节 SERCOS 总线	58
一、SERCOS 接口的结构	59
二、SERCOS 总线运动控制系统组成	61
三、SERCOS 总线协议	62
四、协议初始化	64
五、固化协议 SERCOS 通信卡的软硬件结构与设计	65
第五节 Profibus 总线	67
一、Profibus 总线伺服控制系统的构建	69
二、Profibus 总线单机伺服控制系统设计	70
三、Profibus 总线伺服控制系统网络化设计	72
第六节 CC-Link 总线	74
一、CC-Link 的优点	75
二、CC-Link 现场总线运动控制系统设计	76
第七节 DeviceNet 总线	78
一、DeviceNet 现场总线的技术特点	79
二、DeviceNet 现场总线的体系结构	79
三、DeviceNet 总线的基本构成	81
四、DeviceNet 总线节点设备	84
第八节 其他几种现场总线	86

一、Interbus - S 总线	86
二、MACRO 总线	86
三、FF(基金会现场总线)	87
四、LonWorks/Lon 总线	89
五、HART	89

第三章 伺服运动控制算法 91

第一节 闭环伺服控制算法	91
一、伺服控制系统介绍	91
二、位置前馈控制原理	92
三、前向差分控制机理及控制模型	93
第二节 运动控制器提供的插补模式	96
一、Elmo 插补模式	96
二、Hermite 曲线插补原理	97
第三节 加减速处理	98
第四节 插补算法及加减速处理过程分析	100
第五节 PVT 插补为精插补的插补精度分析	104
第六节 西门子交流伺服系统应用案例分析	107
一、SINAMICS S120 伺服系统在高速流延缠绕膜机组的 应用	107
二、西门子伺服传动技术在凹印机领域的应用	116
三、西门子 CUMC 控制系统在烟草行业滤棒成型机组中的 应用	122
四、SIMOTION D 在矫直机中的应用	127
五、西门子伺服控制在纸机中的应用	133
六、西门子 SIMOTION 在高速塑膜包装机上的应用	138

第四章 网络化多轴运动控制系统硬件设计与实现 156

第一节 控制系统的线路设计	156
一、驱动器电源连接	156

二、编码反馈接线	157
三、基于 RS232 的硬件连接设计	158
四、基于 CAN 总线的硬件连接设计	159
第二节 网络化多轴运动控制系统硬件设计与构成	160
一、控制系统总体设计	160
二、控制系统硬件结构	163
三、多轴运动控制器	164
四、控制器 MSCAN 模块	166
五、驱动元件的选择	170
六、伺服驱动器	171
七、工业触摸屏	172
八、X-Y 实验平台	173
九、编码器选择	173
十、CAN 总线电缆	174
第三节 系统 PMSM 控制数学模型	175
一、建模前的假设	175
二、模型建立	175
第四节 系统抗干扰措施	177
一、运动控制系统干扰现象	177
二、运动控制系统干扰源分析	177
三、信号传输通道的抗干扰设计	178
四、供电系统的抗干扰设计	180
第五节 路斯特(LUST)交流伺服系统应用案例分析	180
一、CDE 电子凸轮在横切上的应用	181
二、一种简单可靠的机械手定位控制方法	184
三、内置 PLC 灵活实现平网印花机的多种功能	187
四、高速数控弯箍机控制系统	191
五、基于 CANopen 通信的数控钻床控制系统	194
第六节 众为兴机电一体化产品应用案例分析	199
一、基于 ARM7 与 UC/OS_II 的焊机设计	199
二、ADT-MC020 在全闭环激光打标系统中的应用	205
三、MC4140 在精密磨床系统中的实现	209

第五章 基于 VC++ 的网络化多轴运动控制系统软件设计 212

第一节 软件编程基础	212
一、开发环境	212
二、多轴运动控制系统动态链接库	213
第二节 网络编程技术概述	216
一、Winsock API	216
二、MFC 套接字编程	216
第三节 多轴运动控制系统软件具体设计	217
一、程序设计概述	217
二、驱动层程序设计	219
三、人机界面程序设计	220
四、基于以太网和 CAN 总线通信程序设计	224
五、控制程序设计	227
第四节 运动轨迹应用程序设计	231
一、运动轨迹的控制原理	231
二、运动轨迹程序编写	232
第五节 Trio 运动控制器的应用案例分析	234
一、Trio 运动控制器在热转移贴标机中的应用	234
二、Trio 运动控制器在塑料封切机中的应用	237
三、Trio 运动控制器在点胶机行业的应用	241

第六章 Elmo 伺服控制系统软件的研究及其应用 248

第一节 Elmo 软件体系结构	248
第二节 Elmo 伺服软件及应用	249
一、电机监控软件及应用	250
二、增益调整及其软件调试	252
三、CAN 总线监控软件	261
第三节 系统编程及应用	261
一、系统初始化参数设置	263
二、单轴运动控制方式	265

三、多轴运动控制方式	268
第四节 Elmo 伺服系统案例分析	272
一、Elmo 伺服系统在鱼尾研磨机中的应用	272
二、Elmo 伺服系统在 IGRT 呼吸仿真系统中的应用	288

第七章 Elmo 位置前馈控制建模与系统参数整定 295

第一节 永磁同步电机的数学模型及矢量控制	295
一、永磁同步电机的数学模型	295
二、系统 PMSM 矢量控制原理	298
第二节 Elmo 位置前馈控制建模与整定	302
一、Elmo 位置前馈控制建模	302
二、Elmo 位置前馈控制整定	303
第三节 交流伺服系统参数整定	306
一、交流伺服系统电流控制特性及整定	306
二、交流伺服系统速度控制特性及整定	307
三、交流伺服系统位置控制特性及整定	308
四、系统动态性能调整	309
第四节 Elmo 现场总线运动控制系统案例分析	310
一、Elmo 运动控制系统在飞机数字化装配系统上的应用	310
二、现场总线在连铸机控制系统中的应用	316

第八章 多轴运动控制系统应用于太阳跟踪的案例分析 321

第一节 研究的意义	321
第二节 研究方案	322
第三节 系统电气及硬件部分	323
第四节 太阳能跟踪理论基础	328
一、太阳运行轨迹的计算	328
二、方位角公式应用研究	331
第五节 程序框图与程序实现	335

第九章 PCIMC 多轴运动控制板卡应用案例分析 344

第一节 PCIMC - 53B 运动控制卡在激光雕刻机系统中的应用	
案例	344
一、激光雕刻机结构	344
二、激光雕刻机工作原理	345
三、控制系统结构和原理	347
四、指令与功能实现	348
第二节 PCIMC - 52 运动控制卡在切割行业的应用案例	359
一、PCIMC - 52B 在玻璃切割机系统中的应用	359
二、PCIMC - 52C 在等离子切割机系统中的应用	362
三、PCIMC - 52B 在火焰切割机系统中的应用	367
第三节 PCIMC - 62A 运动控制卡的应用案例	372
一、PCIMC - 62A 在高压水射流切割机系统中的应用	372
二、PCIMC - 62A 在点胶机系统中的应用	377
三、PCIMC - 62A 在雕铣机系统中的应用	381
第四节 PCIMC - 74A 运动控制卡的应用案例	385
一、PCIMC - 74A 在四轴雕刻机系统中的应用	385
二、PCIMC - 74A 在五轴水切割机系统中的应用	387
三、PCIMC - 74A 在异型玻璃切割机系统中的应用	392

第十章 多轴运动控制系统在不同工业领域的应用案例分析 397

第一节 电液伺服控制技术在 TRT 自动控制系统中的应用	397
一、电液伺服控制技术概述	397
二、电液伺服控制系统的组成、作用及工作原理	397
三、电液伺服控制系统的功能应用	400
四、总结	401
第二节 伺服控制系统在多瓶型卸箱机中的应用	401
一、多瓶型卸箱机的系统结构	401
二、多瓶型卸箱机的系统软件	403
三、结论	405

第三节 大型光电望远镜的伺服系统试验研究	405
一、伺服控制系统	406
二、电机模型	407
三、仿真	408
四、试验及结论	408
第四节 全电动平板硫化机伺服控制系统解决方案	412
一、全电动平板硫化机伺服系统解决方案	412
二、总结	417
第五节 伺服控制在数控移动锯上的应用	417
一、传动控制系统介绍	418
二、气动系统(落锯、抱闸、测速辊的气动系统)	419
三、电子及电器控制系统介绍	420
第六节 NUTJQR-II 型多关节机器人应用案例分析	421
一、机器人组成及其机械结构	422
二、机器人控制系统连接示意图	424
三、机器人控制系统软件编程	425
参考文献	431

第一节 运动控制技术的发展现状

一、运动控制系统概述

运动控制起源于早期的伺服控制(servo control),世界上第一个伺服系统——火炮自动跟踪目标伺服系统由美国麻省理工学院辐射实验室于1944年研制成功。运动控制系统(motion control system)是指以电动机为控制对象,以控制器为核心,以电力电子功率变换装置为执行机构,在自动控制理论指导下所组成的电气传动自动控制系统,用来实现转矩、速度等机械运动的控制。

运动控制系统的发展得力于微电子技术、电力电子技术、传感器技术、永磁材料技术、自动控制技术、微机应用技术的最新发展成果。运动控制系统主要是指电机的控制。在电气时代,电动机一直在现代化的生产和生活中起着十分重要的作用。据统计,在所有的动力源中,90%以上来自电动机。同样,我国生产的电能中有60%以上用于电动机。

运动控制系统的发展经历了从直流到交流,从开环到闭环,从模拟到数字,直到基于PC的伺服控制网络(PC-based)系统和基于网络的运动控制的发展过程,每个过程的发展都在很大程度上促进了运动控制系统的发展。

二、运动控制系统的优点

进入20世纪80年代后,随着微电子技术的快速发展,电路的集成度越

来越高,对运动控制系统产生了很重要的影响,运动控制系统的控制方式迅速向微机控制方向发展,并由硬件控制转向软件控制,智能化的软件控制成为运动控制系统的一个发展趋势。运动系统控制器的实现方式在数字控制中也在向硬件方式发展;在软件方式中也是从运动系统的外环向内环,进而向接近电动机环路的更深层发展。目前,运动系统的数字控制大都采用硬件与软件相结合的控制方式,其中软件控制方式一般是利用微机实现的。这是因为基于微机实现的数字控制器与模拟控制器相比,具有下列优点:

(1) 能明显降低控制器硬件成本。速度更快、功能更新的新一代微处理器不断涌现,硬件会变得很便宜。体积小、重量轻、耗能少是它们的共同优点。

(2) 可显著改善控制的可靠性。集成电路和大规模集成电路的平均无故障时间(mean time between failure, MTBF)大大长于分立元件电子电路。

(3) 数字电路温度漂移小,不受参数的影响,稳定性好。

(4) 硬件电路易标准化。在电路集成过程中采用了一些屏蔽措施,可以避免电力电子电路中过大的瞬态电流、电压引起的电磁干扰问题,因此可靠性比较高。

(5) 采用微处理器的数字控制,使信息的双向传递能力大大增强,容易和上位系统机联运,可随时改变控制参数。

(6) 可以设计适合于众多电力电子系统的统一硬件电路,其中软件可以模块化设计,拼装构成适用于各种应用对象的控制算法,以满足不同的用途。软件模块可以方便地增加、更改、删减,或者当实际系统变化时彻底更新。

(7) 提高了信息存储、监控、诊断以及分级控制的能力,使运动系统更趋于智能化。随着微机芯片运算速度和存储器容量的不断提高,性能优异但算法复杂的控制策略有了实现的基础。

三、运动控制系统的组成和功能

一个完整的运动控制系统硬件应由以下几部分组成:上位控制器、放大元件与执行元件、检测反馈元件、人机交互平台、机械传动元件、负载等。其结构框图如图 1-1 所示。