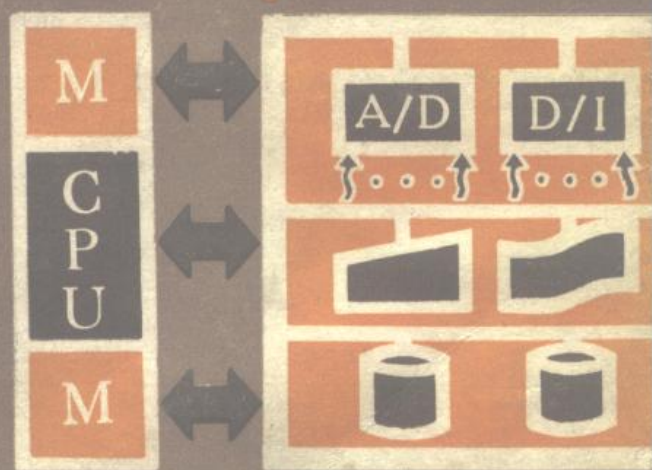


电子数字计算机 实时控制系统

渠川璐 编著



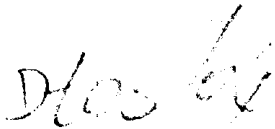
科学出版社

电子数字计算机实时 控制系统

渠川璐 编著

科 学 出 版 社

1 9 8 1



内 容 简 介

本书比较全面地阐述了电子数字计算机联机控制系统的总体结构及各个环节的设计要点。全书共分十章。书中对国内外正在发展的最新技术如超高速激光计算机、光传感器、集成化外围通道及数字软件滤波等作了介绍，并列举了工业、农业、国防、医用计算机控制系统的实例。

本书可作为从事以电子计算机为中心的自动控制系统研制、规划的科技人员、大专院校系统工程及自动化专业师生的参考书。

电子数字计算机实时 控制系统

渠川璐 编著

*

科学出版社 出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1981 年 3 月第 一 版 开本：787×1092 1/32

1981 年 3 月第一次印刷 印张：17 3/4

印数：0001—7,200 字数：403,000

统一书号：15031·331

本社书号：2048·15—8

定 价： 2.70 元

前 言

自四十年代第一台计算机 ENIAC 机问世以来,计算机在技术世界中已成为一朵光采夺目的奇葩,尤其是当它从单纯被认为是“高速计算手段”的概念中解放出来,而进入以“非计算应用”为主之后,完备的计算机信息系统已不再停滞于只面对数字数据,而是通过传感器、执行机构、ADC 及 DAC 直接介入外部世界的动态信息过程。于是它开始广泛而猛烈地冲击了工业、农业、国防、科技乃至医学与家庭生活等等一切领域。

计算机进入控制领域之后,由于它具有以前所未有的速度与各种“过程”交换物理量信息以及高速判断推理和决策的能力,所以,它立即成为工业、农业、国防、科技等领域高级自动化的支柱,并表现出可以代替人类部分思维活动的革命潜力,对这种事实必须充分予以估价。我们必须充分认识到计算机信息系统不仅能代替人的体力劳动而且将代替部分人类思维的职能,并要看到这种高速、大容量的系统作为一种“资源”而综合共享的前景。

本书是在同行们的热情鼓励下,在原有讲稿的基础上整理充实而成,编写此书的目的是为了使读者对计算机实时控制系统有个较全面的了解。

在本书写作过程中,承蒙中国自动化界老前辈杨嘉墀先生对原稿仔细进行审查,并提出宝贵意见,上海交通大学张钟俊教授、中国航空学会理事长沈元教授也给予有益教导。在本书出版过程中,罗炳海、郑振谊、姚铁梅、陈芝明等同志也给

予很大帮助,在此一并表示衷心的感谢。

计算机实时控制系统涉及的范围很广,作者水平有限,错误、不当之处在所难免,恳切希望读者批评指正。

渠川璐于北京航空学院

1978 年元旦

目 录

第一章 计算机信息系统工程基础	1
一、历史与发展	5
二、基本知识	10
1. 典型通用计算机的特点	10
2. I/O 通道与优先/中断系统	14
3. 系统的时间源	20
三、系统的结构与部件功能概述	24
1. 标准外部设备	24
2. 一次仪表	28
3. 外围通道	28
4. 接口	29
四、香农采样定理与信号的采样过渡过程	31
五、实时控制软件概述	39
1. 软件与实时软件	40
2. 实时软件特点	43
六、系统的现状和发展方向	44
1. 系列化与标准化	45
2. 微型化与集成化	46
3. 激光技术在系统中的应用	47
4. 大型自动信息系统组织布局的新途径	49
附录一 典型使用的交换码	52
附录二 交换码中操作符号(我国部颁标准)与国际标准化 组织(ISO)符号对照表	60
附录三 微型化集成组件典型产品	61
附录四 微型计算机典型规格	63

附录五 国产系列计算机指标	64
参考文献	66
第二章 一次仪表的选择、联机与发展	68
一、一次仪表的选择	68
1. 一次仪表的主要技术指标	71
2. 联机用传感器的选择技术	74
3. 典型传感器中的技术问题	75
二、传感器的数字化	91
1. 变频型真实数字化传感器	92
2. 激光偏振式压力数字传感器	94
3. 声表面波及激光光栅式传感器	98
三、其他物理效应的应用	100
1. 耿氏效应	100
2. 霍尔效应	101
四、计算机系统对传感器误差的自动校准	102
1. 零点误差及零点漂移的程序补偿	103
2. 非线性度的自动校准	108
五、集成光学传感器概述	112
1. 集成光学数字化传感器	113
2. 集成环形行波激光传感器	116
六、一次仪表、系统与近代基础研究间的关系	117
参考文献	118
第三章 多点切换器技术	119
一、功能及主要技术指标	119
1. 运行原理	121
2. 主要指标	128
二、双极性晶体管开关	129
三、JFET 开关	137
1. JFET 结构与传输特性	137
2. JFET 的动态特性	143

3. JFET 开关的驱动电路与参数选择	145
四、MOS 开关	148
五、多点切换器的总布局与技术问题	153
1. 开关噪音(脉动噪音)	153
2. 路际串扰	154
3. 抗共模干扰措施	156
六、多点切换器对接口的衔接	158
1. 译码器的地址输入线	159
2. 译码器与选通	161
3. 与接口衔接时的功率驱动问题	162
七、多点切换器的新技术	163
1. 光-电开关	163
2. 集成多点切换器	167
参考文献	172
第四章 外围通道中的 I/O 技术	174
一、模出子系统	174
1. 基本 D/A 变换器(T 网)	177
2. 采样/保持电路	187
二、模入子系统	202
1. A/D 变换器的选择	202
2. 多切与 A/D 之兼容	210
3. 快速 A/D (并行与串/并行 A/D)	213
4. 廉价 A/D 的实现	219
三、开关量 I/O 通道	225
1. 开关量的分类	225
2. 开关量输入通道	226
3. 开关量输出通道	228
四、条件化电路	229
1. 阻抗匹配	230
2. 比例系数的条件化	230

3. 调制技术的使用	231
参考文献	233
第五章 外围通道的微型化	234
一、集成电路技术概述	234
1. 薄膜技术	234
2. 单片集成工艺	247
二、T 网的微型化	250
三、集成采/保器	262
四、A/D 变换器的微型化	266
1. 电荷再分配法 A/D 变换器	266
2. 电荷平衡型 A/D 变换器	270
3. 集成 δ 调制型 A/D 变换器	271
4. 高速 A/D 采样中采/保之必要性	274
五、使用集成运算放大器构成基本环节	276
1. V/f 式 A/D 变换器结构及原理	277
2. 运放串行 A/D 变换器	279
六、关于激光修变的进一步讨论	280
七、展望	282
附录一 集成运放闭环传递函数与性能优化简单原理	284
附录二 国产集成运放特性	301
附录三 国际典型集成(微型化) A/D、D/A 变换器特性	302
参考文献	303
第六章 接口设计基础	304
一、基本接口线路	305
1. 基本集成电路及其功能	305
2. 集成电路的老化筛选	308
3. 基本接口电路	309
二、慢通道接口设计	315
1. 控制用计算机的母线	315
2. 慢通道标准接口及其与程序之兼容	317

三、快通道接口设计	326
1. 快通道交换的慢通道接口	327
2. 快通道接口基本电路	327
四、单母线机器接口	329
1. 单母线机接口的特点	329
2. 基本 I/O 模式中母线时序	333
3. 中断过程	333
4. 程控交换接口	338
5. 成组传输接口	340
五、接口与控制软件之兼容	340
1. 硬软件约定	341
2. 用什么通道和计算机交换数据	341
3. 接口的设备号代码	342
4. 系统优先权与外设屏蔽位的决定	344
5. 接口状态字及控制字的格式确定	345
六、接口的时序发生	348
七、端接技术	351
1. 长线的分布参数对 TTL 传输脉冲的波形影响	351
2. 绞扭线的特性阻抗控制	353
3. 差分传输	354
八、其他技术	357
1. 接口中缓冲寄存器的扩展	357
2. 频率量接口的考虑	359
3. 快通道接口对控制软件的协调运转	359
4. 功率扩展问题	360
5. 时序中需考虑的其他因素	361
九、标准多功能接口问题	362
附录一 DJS-130 机与 NOVA 机相对应的母线表	363
附录二 典型国产 TTL 组件(接口常用)规格	365
附录三 国产 TTL 编号表(国标)	367
附录四 国产“7”系列 TTL 编号	368

参考文献	369
第七章 抗干扰技术	370
一、干扰窜入途径	372
1. 公共阻抗耦合	372
2. 静电耦合	374
3. 磁场耦合——电感耦合	377
4. 其他干扰途径	380
二、共模串模干扰抑制技术	380
1. 大地的性质	381
2. 共模电压、接地、浮地与屏蔽	384
3. 串模干扰的抑制	393
三、软件滤波程序	402
1. 递归滤波与非递归滤波程序算法的基本概念	403
2. 低通滤波与高通滤波程序算法示例	404
3. 对随机噪音过滤的算法	407
四、其他噪音的消除	412
1. 热电势的消除	412
2. 环境与电源的考虑	417
参考文献	424
第八章 光计算机,光信息传输与光外部设备	425
一、激光的发生与激光技术现状	426
1. 气体激光的发生和稳频	430
2. 固体激光器与电流注入泵式半导体激光器	434
3. 激光技术现状与对光计算技术的支持	434
二、激光干涉与全息技术	435
1. 相干波	436
2. 数字全息摄影原理	439
三、激光束的声-光偏转技术	442
1. 声-光偏束器的基本原理	443
2. 声-光偏束器介质的固态化	445

3. 高频偏束器	446
四、激光增益猝灭与饱和吸收	448
五、半导体激光逻辑单元	453
1. 半导体激光器实现数字逻辑的基本原理	454
2. 双稳态触发器光逻辑	460
3. 单稳光元件	460
六、神经元逻辑单元	462
1. 神经元的基本概念	462
2. 一神经元上两个光脉冲间的冲撞过程	462
3. 两个纤维间的基本耦合形式	463
4. 基本神经元逻辑	464
5. 神经元光纤材料	466
七、激光“相关”运算硬件	467
1. 多通道光学相关器	467
2. 数字光学相关器	468
八、激光外部设备	470
1. 激光大规模存贮器原理	470
2. 激光记录设备	474
3. 激光微带存贮器	478
九、结束语	480
参考文献	481
第九章 实时控制软件.....	482
一、过程控制中的实时软件的特点	484
1. 实时软件的结构	484
2. 管理程序的功能和结构概述	486
3. 时间调度	490
4. 程序间请求	491
二、时间紧迫过程的调度策略	492
1. TCP 模型	492
2. 固定优先权的智能算法 (IFP 算法).....	493
3. 无限时间片法 (ITS 算法)	495

4. 最小时间片调度算法 (MTS 法)	496
5. 相对迫切法 (RU 法)	497
三、决策表及快速查表	498
1. 查找算法	501
2. Shell 分类算法	503
3. 地址计算法分类	503
4. 快速查表在实时软件中的意义	505
四、快速算法问题	505
1. 经典傅氏分析算法(连续式)	506
2. 离散傅氏变换 (DFT) 的表达	506
3. 快速傅氏变换 (FFT) 算法与效果	508
五、实时数据库管理	512
六、典型过程控制语言	514
1. 荷内威尔 (Honeywell) 公司实时 FORTRAN-IV	515
2. CDC-1700 的 ANSI-FORTRAN 扩充	517
参考文献	522
第十章 计算机实时控制系统示例	524
一、基本模块形成的基本系统	525
二、一个利用 DJS-130 组成的快通道交换式自控系统	531
三、控制系统的其他应用	543
1. 用于数控机床	543
2. 医学诊断与病员自动护理系统	545
3. 农、副业控制系统	548
4. 国防应用系统	550
5. 地震预报中应用的可能性	551
四、展望	552
参考文献	553

第一章 计算机信息系统工程基础

“系统工程”泛指以计算机为中心的通用或专用的成套自动化设备或成套自动信息系统。本书只针对以通用数字计算机为中心的控制系统作出分析和阐述。因为这类系统可以适用于各种用途。对不同对象所需要改变的只是程序而不必改变硬件设计本身,所以这样的系统在工业过程、国防设备信息过程、科学实验过程、经营管理信息过程、医疗护理过程、农业管理过程……的控制应用中皆可胜任。国际上大体在五十年代末至六十年代初开始发展这类系统,并在实践中证实了这是一项强有力的促进全盘自动化的重要手段。从本质上讲,它是通用的。因为任何过程都可以被归纳为以下三个控制步骤:

1) 实时数据收集: 对过程各个物理量的瞬时值进行扫描。

2) 实时决策: 对收集来的表征过程的状态量进行分析,并按已定的原则决定进一步的过程控制。

3) 实时控制: 根据决策,适时的对各个控制执行机构发出控制信号。

这个过程不断重复,保证整个系统能够按照一定的动态品质指标进行工作,并能得到对过程与设备本身异常状态的及时监督并作出合理迅速的处理。显然,早期使用人工控制对一些较快的系统不可能在监督/控制中进行实时决策及实时处理异常状态,因而得不到良好的监控品质,有些“事件”更得不到及时处理以保证运行安全。至于人工控制相当复杂的

多参量过程时，欲对之作协调地实时决策，是根本不可能的。只有当计算机以每秒几十万次、几百万次以至几亿次（多处理机或光计算机）的处理速度揭开了崭新的一页之后，高效率地支持整个系统的工作才成为可能。因此，“计算机化”必将促进系统工程的迅速发展。

实现计算机化系统，有一个前提，因为计算机根本不能“自己去”理解什么是状态量，什么是控制量，由计算机本身角度来看，这些量只是一些数据。状态量只被计算机理解为输入的数据；控制量只被计算机理解为输出的数据；决策只被计算机理解为一系列算术的和逻辑的操作过程。因此，就计算机本身而言，控制的三个步骤被归结为通用的算术/逻辑操作及数据输入/输出（I/O）。

以检查一个风洞实验阀门开启程度为例（阀门由电动机通过一套蜗轮、蜗杆减速系统去开启或关闭）。蜗杆为单线，蜗轮为 360 齿。蜗杆转动一圈对应于蜗轮带动阀门转过 1° 。最简单的方式是在蜗杆上附有一磁化金属齿，用一固定磁头“拾音”，则蜗杆每转动一圈在磁头中由于磁阻降低一次而感生一个脉冲。这个脉冲输入到一个由触发器组成的计数器，使计数器的状态（各个 Q 端电压组合的二进位值）增量 1。由计数值即可知道阀门的开启程度。从这个简单例子即可知道通过某些手段（传感器、变送器等通称一次仪表），可以把实际被控过程中任何物量参量（本例中是阀门开启角度）变换成一个二进制数据，而这个数据量值的测度代表了这个需了解的状态量值。在本例中阀门最初处于原始状态 0° ，如准备叫阀门开启 5° ，计算机发出 -5_{10} （下标表示是 10 进制值， -5_{10} 即控制量），通过在一个缓冲寄存器中存入 -5_{10} 代码作为控制量，每当阀门转动 1° ，寄存器中数值增量 1 则变为 -4_{10} ，如此重复动作下去，寄存器里内容逐次变为 -3_{10} ， -2_{10} ， -1_{10} ，

直至寄存器中内容变为零值时，阀门也就开启了 5° 。因此，对于计算机来讲，作为控制量只输出了一个数据 (-5_{10}) 即完成了控制。

如果这样广义地来理解，扫描状态量对于计算机来讲只是输入数据，计算机发出控制量只是输出数据，那么，计算机这个原来只能作算术/逻辑操作的设备就可以和外部被控过程发生联系，它就再也不局限于只是作科学计算的纯数学的机器。“决策”也可以用这个简单例子来阐明。例如，我们预定阀门开启 12° ，但状态量输入为 7° ， 7° 与 12° 相比较，得出应使阀门再转动 5° 的结论（决策），因此发出一个控制量 -5_{10} ，就产生了上述控制过程。过程的算术/逻辑决策可以写成

令设定值 $= 12$

$12 - (\text{状态量瞬时值}) = 0?$

分支：

如 $12 - (\text{状态量瞬时值}) = 0$ ，则不再发送控制量

如 $12 - (\text{状态量瞬时值}) \neq 0$ ，则有两种情况（再分支）：

$$\begin{cases} 12 - (\text{状态量瞬时值}) = \delta > 0, \text{发出} -\delta \\ 12 - (\text{状态量瞬时值}) = -\delta, \text{发出} +\delta \end{cases}$$

这个简单决策显然包括减法，判定数值极性和幅值，引入不同分支的逻辑操作。显然，一个物理过程被数学化了，并且被计算机以数学方式操作着。因此，控制过程被数学模型化后，控制的三个阶段都可以由计算机以高速度来支持。这个数学化了的控制进程，不论是什么过程如轧钢、化工、雷达跟踪、火炮指挥仪、惯性导航等都可以抽象化为这样三个阶段，除了具体决策的数学模型不同外，其余没有什么两样。因此，我们可以断言：基于通用计算机的硬件系统可以支持不同的过程，因此只有用拥有一组通用指令的通用计算机，才能支持这种既

有相同的硬件又可以适用于不同过程控制的系统，通过编制不同的程序来实现不同的决策，及进行不同的指挥。

以上，用简单例子建立了计算机控制系统的一般概念。计算机直接连在系统中工作而不通过其他中间记录介质如磁带、磁盘、磁鼓、穿孔带/卡等来间接对过程进行 I/O 及决策，叫作“联机”方式或称“在线”方式。而通过一定中间记录介质把收集的数据存贮，然后把这些记录有数据的介质送到计算机上实行输入，再经处理加工得到所需的结果输出，如老式巡回检测系统采用的方式叫作“脱机”方式或叫“离线”方式。当然，任何计算机控制系统都是以联机方式工作的。脱机方式不能及时地对系统进行控制，这里就涉及到“实时”的概念。我们先简单地把“实时性”的概念介绍一下。

由于过程的状态量是随机变化的，我们不能预料在过程中任一个状态参数会怎样变化，但不论状态参数怎样变化，都应针对这种“事件”及时作出“响应”，以保证系统能以最好的品质工作。这样就发生了一个“事件” $\longleftrightarrow$ “响应”之间的反应速度问题，其时间延滞 Δt 就是这个反应速度的测度，如果 Δt 很小，就说系统是“实时”的。但实时这个概念不能脱离具体过程。对于热容量很大的温控系统， $\Delta t = 1$ 秒即可认为是实时的。对于飞行训练器来说，从驾驶员操作杆、舵系统的状态量变化开始，几至几十毫秒内就应改变“飞行姿态”这才算是实时的，如仍维持 1 秒钟的 Δt 系统就太迟钝了。所以，“实时性”指标必需针对具体过程才有意义。

实时性指标涉及到一系列延迟。归纳起来包括前面阐述过的“输入状态量 $\longrightarrow$ 决策 $\longrightarrow$ 输出控制量”的综合延迟，一次仪表的延迟，执行机构的动态延迟，数据传输的延迟……。我们知道，实时系统必然是联机系统，但联机系统却未必是实时的。要完成实时指标需从硬件及软件上采取一系列措施。