

数字控制系统

—— 原理、硬件与软件

沈春林 吕厚宜 编译
许民新 陈佩贞

Digital Control Systems



航空工业出版社

数字控制系统

—— 原理、硬件与软件

沈春林 吕厚宜 编译
许民新 陈佩贞

航空工业出版社

1993

JS-747

(京)新登字 161 号

内 容 提 要

本教材把采样数据控制理论和计算机工程这两个领域使之相互渗透,相互联系,以致成为一个完整的统一体,这是本书的独特性。再则,本书内容分有短学期和长学期使用二种规格,可根据教学需要任意选用,这是本书具有使用灵活性的特点。本书提供了数字控制系统的背景情况、分析技术、综合方法和实现时所需要考虑的问题,其工程实践性很强。同时,用计算机辅助设计的方法,贯穿在整个系统分析、设计和综合之中,使数字控制系统分析、设计和综合极为方便。

本书叙述清楚,逻辑推理和启发性强,适用于有关自动控制类专业的本科生、研究生作教材。亦可供从事自动控制、数字控制等方面的工程技术人员参考。

数 字 控 制 系 统

——原理、硬件与软件

沈春林 吕厚宜 编译
许民新 陈佩贞

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里 14 号)

—邮政编码:100029—

全国各地新华书店经售

南京航空航天大学飞达印刷厂印刷

1993 年 7 月第 1 版

1993 年 7 月第 1 次印刷

开本:787×1092 1/16

印张:31.125

印数:1—3 300

字数:771 千字

ISBN 7-80046-483-0/G · 073

定 价: 24.50 元

编 译 者 序

数字控制系统,又称计算机控制系统,是指计算机参与控制的闭环动态系统。70年代,由于数字计算机的迅速发展,国外计算机控制系统在国民经济各个领域中的应用与日俱增。其特点是:体积小,重量轻,功能强,成本低,规范化,维护方便。而计算机在航空上应用的优点更为突出。70年代初期,美国开始研制数字飞行控制系统,使之适应于多功能、多任务、小型化、高性能方向发展。目前,国外不论是有人驾驶飞行器,还是无人驾驶飞行器,几乎都采用数字飞行控制系统。

由美国空军技术学院 Houpis 教授和 Lamont 教授合著的“数字控制系统——原理、硬件与软件”一书,是一本数字控制理论和计算机工程相结合的好教材。把计算机工程与数字控制系统溶为一个完整的统一体,作了清楚的、易理解的、逻辑推理性和启发性的叙述。并特别介绍了数字控制系统在飞行器上应用的背景情况,除了提供常用的分析技术,综合方法和实现时所需要考虑的问题以外,还提出了“伪连续时间(PCT)控制系统”的方法,并对其建模和分析进行了研究。在分析、设计、综合数字控制系统中,始终使用了代表现代开发环境的计算机辅助设计软件包,这给读者带来了新颖的概念。本书还对数字控制系统中的软件,实时操作系统,从工程实际出发作了有效的讨论。这是适用于自动控制专业的高年级大学生、研究生以及从事自动控制技术的工程技术人员的一本理想的参考书,特此介绍给读者。

本书共十五章,由南京航空航天大学沈春林教授等编译。其中前言和第一、二、三、四章由沈春林编译,第五、六、七、八章和习题答案由吕厚宜编译,第九、十、十一、十二章和习题由许民新编译,第十三、十四、十五章和附录由陈佩贞编译,并由沈春林教授和许民新副研究员负责全书统校工作。在描图、出版过程中得到很多同志的帮助,在此深表谢意。限于时间和编者水平,会有不当之处,望读者指正。

编译者

1992.9.

前 言

随着小型计算机和与之相联系的微电子学的出现,显然需要一本关于采样数据控制理论的基础教材。该教材着重于把数字计算机用作控制器,即数字控制系统。用数字计算机充当补偿器,以有效而经济的方式使得设计灵活和系统的可扩展,认识到这一点,对读者来说是很重要的。另一方面,模拟元件在实现过程中是刻板的、缺乏灵活性。而且,由于对象参数变化、环境改变和要求的修改而引起的模态变化的实时适应性(即在实时控制中,如过程控制,改变期望补偿器的特性),一般不容易用一个简单的模拟补偿器来达到。目前的一些教材只能部分地满足需要,但本质上仅限于理论方面。现在所需要的是一本完备的教材,使采样数据控制理论和计算机工程这两个领域相互渗透,相互联系。而这两个领域对数字控制工程仍是极端重要的。

对这类综合教材来说,采样时间的设计值是很重要的。就读者而言,这些设计值强调了在进行数字控制分析和综合时所要求的精确度。因而,这本教材把计算机工程与采样数据控制系统溶成一个完整的统一体,并作了清楚的、能理解的、富于逻辑推理性的和启发性的叙述。本教材也提供了数字控制系统的背景情况,分析技术,综合方法和实现时所需要考虑的问题。这本教材的分析、设计、综合采样数据控制系统中,始终使用代表现代开发环境的计算机辅助设计软件包。

这本教材所要求的基本知识是连续时间控制系统中的基础课程(参考文献中的第一章至第十一章),不要求计算机或电机工程方面的基本知识。编程用的一些较高级的语言(FORTRAN, BASIC, PASCAL 等),对于理解有关软件工程的章节将是有用的,但不是必需的。

作者尽力使用解释、图形、计算、表格和符号。作者也努力保证使学生意识到对于先进的控制工作,严格是必需的。传统控制理论中那些原理对采样数据控制系统设计和分析仍有现实意义,教材对它们作了有力的、全面的、启发性的说明。教材提出的各种不同的方法,有助于学生提高对 A. T. Fuller 曾称为“神秘的控制系统”的运行的理解力。为了有条不紊地介绍本学科的发展过程,作者试图避开正式的证明和引理,而把有理解力的学生必定无疑地引入到要求的多速率、多变量的控制系统理论中去。作者认为,已经达到这一点的学生,为满怀信心地承担更高的数字控制理论所提出的挑战,作好了充分的准备。作者也强调了广泛利用综合的计算机设计软件包的重要性和必要性。

第二章叙述了计算机工程基础的简要的但完整的概貌。该章介绍了组合逻辑寄存器,数的表达和编程,以用于数字控制器的接口和过程控制逻辑。

第一章讨论采样过程。而第三章介绍了理想脉冲采样的推导。第三章还讨论了香农采样定理,以确定最小采样速率。该章还陈述了描述采样数据控制系统性能的线性差分方程的

建立。接着又讨论了采样数据系统加权序列模型的推导,并提供了利用数据保持器将采样信号恢复为连续时间信号的技术。

第四章的第一部分引入 Z 变换作为采样数据控制系统分析和设计的方法。这一章描述了就时间响应特性来说 s 和 z 平面内零极点形式之间的相互关系。而 Z 变换定理与拉氏变换相类似,为简化和方便地应用 Z 变换方法分析系统性能,该章还介绍了拉普拉斯变换的那些定理。本章展示了开环和闭环采样数据控制系统的性质和数学表达,还给出了它们的相应的框图表达,然后描述了 Z 反变换 Z^{-1} 方法,用此方法可以在采样瞬间 $z = e^{sT}$ 时,得到系统的时间响应特性。为了确定采样瞬时之间的其他时间的响应数据,提出了修正 Z 变换 Z_c 方法和响应的定理。在这一章中还讨论了数字控制器传递函数及其实现,并将在第十章进一步详述。

本教材所强调的采样数据控制系统分析和设计方法,基于连续时间控制系统所用的传统控制理论方法。因此,第五章介绍了这些方法的概要。这些方法包含在参考文献 1 中的第四章至第十二章。这一章向读者再介绍期望系统控制律的建模。由于扰动抑制控制系统的分析和设计在很多实际控制系统中的重要性,§ 5-7 对它进行了详细讨论。

第六章详细讨论了基本(未补偿的)采样数据控制系统的分析。非常重要的第一条是:“系统是否稳定或对于什么样的范围内的增益和/或采样时间,系统才能有稳定的性能?”该章介绍了在 z 域内应用朱利(Jury)的稳定性检验或在 w 域或 w 平面内应用劳斯稳定性判据的稳定性分析。以连续时间系统同样的方式来处理系统的稳态特性。这种分析包括讨论系统类型和系统跟踪多项式输入的能力之间的关系。更进一步,就时间响应特性来说,该章用根轨迹法和频率响应法,把 s, z, w 平面分析联结在一起。该章详尽地讨论了采样时间 T 对 s 和 w 平面分析结果与 z 平面分析结果之间的相互关系的影响。强调了减小 T 对系统性能 and 数字实现方面在设计精度上(很多地方有精度要求)有着非常重要的影响。

第七章展示了采样数据控制系统近似设计方法,这一方法包括帕德(Pade)近似法,塔斯廷(Tustin)变换,伪连续时间(PCT)控制系统。如果离散近似方法有效,则此法依赖于在 s 平面内进行分析和设计。

第八章以逻辑的方式介绍了模-数(A/D)和数-模(D/A)转换器以及 I/O 程序设计的基本结构。用这种方式能够使学生详细理解数字控制系统中的输入-输出。为使学生对设备的构造和精度有所了解。该章也介绍了一般的控制转换器。

第九章提出了在第十章中要讨论的有限字长统计分析的基础。介绍了连续和离散随机变量以及随机过程的原理。利用这种统计基本知识,在第十章中着重讨论有限字长对 A/D 和 D/A 转换、计算机中二进制数的实现,加法和乘法运算、零极点漂移、以及由于量化产生的极限环的影响。

第十一章详细讨论了分析和设计采样数据级联补偿控制系统所有的三种方法:在直接(DIR)法中,所有工作都在 z 平面内进行。在数字化(DIG)方法中,所有工作或在 s 平面或在 w 平面中完成。这一章详尽地讨论了基于第七章近似法系统设计的精度,用各种方法所得结果的相互关系和比较,以及 T 对这些结果的影响。也讨论了 PID 控制器,本章还介绍了如何利用模拟设计方法和均方差法设计数字信号处理的有关元件如频率滤波器。就控制器的数字实现来说这一章与第二章,第八章至第十章和第十二章至第十五章有相互联系。

第十二章讨论反馈补偿系统。第一部分论述跟踪问题,即期望系统输出跟踪系统输入。

第二部分论述干扰抑制问题,即系统输出不跟踪系统输入。

下面二章(第十三章和第十四章)再次论述计算机工程。第十三章讨论了确定数字控制系统软件要求、软件设计、实现和测试的工具和方法。第十四章介绍了实时工作原理及各种典型结构,使学生能够领会用于分布数字控制系统(实时系统)实现的关键性元件。

第十五章是描述采样数据控制系统的状态变量方法入门。包括用状态空间表达的系统性能分析。最后这一章讨论了要使对象参数变化在系统输出上的影响减至最小的设计方法。这一章为现代数字控制系统研究提供了基础。

这本教材的两个重要和主要的特点是独特性和使用的灵活性。独特性特点是采样数据控制理论与计算机工程的结合;强调了当 T 变小时所需精度,即它对计算方法和数字实现的影响;强调了计算机辅助设计(CAD);在某些章节,教材的例子都用两种观点来讨论,即控制理论和数字计算机实现;广泛研究用根轨迹法进行系统分析和设计;比其它教材更详尽地分析了 s 、 z 和 w 平面之间的相互关系,即时域和频域的相互关系(分析和设计);研究了在 s 和 w 平面内设计和分析伪连续时间控制系统;并强调了数字计算机中控制律(算法)的实现。本教材可用于高年级大学生和一年级研究生课程(时间为两学期);用作短学期课程(40学时);用作自学教材;和用作仅限于采样-数字控制理论,即第一,二至七,十一,十二和十五章的单一课程。

因此,作者认为,随着对教材材料的掌握,学生将能够借助 CAD 来分析和设计〔单输入-单输出(SISO),单速率〕采样数据控制系统,并实现数字控制器。作者感到,完成一本采样数据理论和计算机工程相结合的教材的目的已经达到。

用过本书的学生和审阅过本书的教师,对本书作了有益的评论和校正,作者对他们表示感谢。作者感谢空军技术学院电子工程系主任 R. E. 冯坦(Fantan)博士所给予的鼓励。在完成本书过程中,威斯康星(Wisconsin)大学的名誉教授 T. J. 希金斯(T. J. Higgins)对本教材的不断鼓励和检查,曾是一种非常重要的促进因素。作者还要对空军技术学院的前访问学者,英国洛夫波诺夫市(Longhborough)技术大学高级讲师唐纳德·麦克林(Donald Mclean)博士表示特别的感谢。他曾详细审阅了全书。他的理解力和洞察力大大有助于表达的清楚和严密。我们同他的交往已是一项使人深受启发,使人精神振作的经历。

目 录

第一章 绪论	(1)
§ 1-1 引言	(1)
§ 1-2 数字控制系统的建模	(2)
一、采样过程	(2)
二、系统术语	(2)
三、例子	(3)
四、一般采样数据系统的变量	(7)
五、一般建模	(8)
§ 1-3 为什么要使用数字控制	(9)
一、优点	(9)
二、缺点	(10)
§ 1-4 数字控制系统的结构	(10)
§ 1-5 控制系统的分析和综合技术	(11)
一、时域/频域	(11)
二、随机分析	(12)
三、辅助手段	(12)
四、设计方法	(13)
§ 1-6 数字控制的交错学科	(13)
§ 1-7 数字控制的发展	(15)
§ 1-8 工程控制问题的一般性质	(16)
§ 1-9 本书梗概	(17)
§ 1-10 小结	(18)
第二章 计算机系统结构	(20)
§ 2-1 引言	(20)
§ 2-2 计算机与数	(20)
一、数系统	(20)
二、数系统的转换	(22)
三、基本的计算机算术运算	(25)
四、字母数字信息的二进制码	(27)
§ 2-3 计算机逻辑和布尔代数	(29)

一、逻辑推理	(29)
二、逻辑运算和真值表	(30)
§ 2-4 计算机结构	(34)
一、输入-输出装置	(36)
二、存储器与信息	(36)
三、处理单元 (算术 - 逻辑单元)	(36)
四、控制单元	(36)
五、操作系统	(37)
六、应用程序	(37)
§ 2-5 带符号数的表达与算术处理	(37)
一、带符号二进制算术数的表达	(37)
二、二进制加的算法	(40)
三、浮点数的表达	(42)
§ 2-6 算法	(43)
§ 2-7 软件语言体系	(45)
一、汇编语言	(46)
二、程序输入器	(48)
§ 2-8 用于控制的操作系统	(50)
§ 2-9 语言选择	(50)
§ 2-10 程序开发	(51)
§ 2-11 小结	(52)

第三章 线性系统和采样过程

§ 3-1 引言	(53)
§ 3-2 线性时不变 (LTI) 系统	(53)
§ 3-3 采样过程 (频域分析)	(56)
§ 3-4 理想采样器	(59)
§ 3-5 香农 (Shannon) 采样定理	(64)
§ 3-6 均匀速率采样	(64)
§ 3-7 线性差分方程的建立与求解: 系统模型	(65)
§ 3-8 加权序列 (采样数据系统)	(70)
§ 3-9 数据转换过程	(75)
§ 3-10 小结	(78)

第四章 离散系统建模

§ 4-1 引言	(79)
§ 4-2 Z 变换的定义及求取	(79)
§ 4-3 s 域与 z 域之间的映射	(86)

一、基本频带的映射	(87)
二、等频线的映射	(88)
三、等阻尼系数线的映射	(88)
四、等阻尼比线的映射	(89)
§ 4-4 Z 变换定理	(91)
§ 4-5 Z 反变换 Z^{-1}	(94)
一、部分分式法	(94)
二、幂级数法 (长除法)	(98)
§ 4-6 局限性	(99)
§ 4-7 系统方程的 Z 变换	(100)
一、开环混合采样数据控制系统	(100)
二、开环离散输入数据控制系统	(104)
三、闭环采样数据控制系统	(104)
§ 4-8 数字计算机的传递函数	(107)
§ 4-9 修正 Z 变换法	(109)
一、求修正 Z 变换 Z_m	(110)
二、计算 $e[(k-p)T]$	(111)
三、修正 Z 变换定理	(112)
§ 4-10 小结	(113)

第五章 连续时间控制系统的响应特性..... (114)

§ 5-1 引言	(114)
§ 5-2 二阶系统的响应特性	(116)
§ 5-3 高阶系统的响应特性	(119)
一、三阶全极点对象的时间响应特性	(119)
二、六阶对象的时间响应特性	(120)
三、频域和时域之间的关系	(121)
四、在频域和时域响应中控制律零、极点的关系	(122)
五、第三个实主导根的作用	(125)
§ 5-4 级联补偿器的设计过程	(126)
§ 5-5 在单位阶跃输入下连续数字控制系统期望控制律的综合	(129)
§ 5-6 反馈补偿	(132)
§ 5-7 干扰的抑制	(132)
§ 5-8 小结	(139)

第六章 离散控制分析..... (140)

§ 6-1 引言	(140)
§ 6-2 z 域稳定性	(141)

§ 6-3 扩展 z -域稳定性分析: 朱里 (Jury) 稳定性检验	(144)
§ 6-4 稳定系统的稳态误差分析	(146)
一、稳态误差系数公式	(147)
二、稳态误差系数的计算	(148)
三、稳态误差系数的应用	(149)
§ 6-5 根轨迹分析	(150)
一、步骤概述	(151)
二、负反馈系统根轨迹的作图规则	(151)
三、例题	(152)
§ 6-6 双线性变换	(157)
一、 s 平面与 w 平面的关系	(158)
二、 w 平面中的劳斯 (Routh) 稳定性判据	(160)
§ 6-7 s 平面, z 平面和 w 平面时间响应特性的相互关系	(162)
§ 6-8 频率响应	(165)
§ 6-9 小结	(170)
第七章 离散变换分析 (近似法)	(172)
§ 7-1 引言	(172)
§ 7-2 折叠或混叠	(173)
§ 7-3 s 平面至 z 平面 (或 w 平面) 的变换方法	(174)
§ 7-4 Z 变换的映射近似法 (或差分方程的数值解)	(175)
一、一阶后向差分法	(175)
二、塔斯廷 (Tustin) 变换法	(181)
§ 7-5 伪连续时间 (PCT) 控制系统	(183)
§ 7-6 基本 (无补偿) 系统的分析	(185)
一、PCT 控制系统模型	(185)
二、采样数据控制系统	(186)
§ 7-7 小结	(188)
第八章 信号转换原理	(189)
§ 8-1 引言	(189)
§ 8-2 定时的考虑	(189)
§ 8-3 转换系统	(190)
§ 8-4 一般的数字-模拟 (D/A) 转换结构	(191)
§ 8-5 一般的模拟-数字 (A/D) 转换结构	(194)
一、基本的基准技术	(194)
二、数据转换体制	(195)
三、信息流结构	(195)

四、定时结构	(195)
五、比较器的运行	(195)
六、数字编码	(195)
七、标定	(197)
八、混合体制	(198)
§ 8-6 模拟-数字系统	(198)
一、同步法或闪光法 (并联)	(199)
二、反馈结构法 (串联)	(199)
三、计数器法 (串联)	(199)
四、连续法或跟踪法	(200)
五、逐次近似法 (串联)	(203)
六、特殊的 A/D 转换方法	(204)
§ 8-7 转换器性能的测量	(205)
§ 8-8 采样和保持的操作	(206)
§ 8-9 多路传输	(208)
§ 8-10 集成计算机转换接口	(208)
§ 8-11 数字控制系统中的测量	(209)
一、温度测量	(210)
二、压力测量	(211)
三、速率测量	(212)
四、位置测量	(213)
§ 8-12 输入和输出的编程	(213)
一、I/O 的硬件结构	(214)
二、I/O 的编程模式	(214)
三、中断 I/O 装置	(215)
§ 8-13 小结	(217)
第九章 随机过程	(218)
§ 9-1 引言	(218)
§ 9-2 基本概率	(218)
§ 9-3 随机变量基础	(220)
§ 9-4 估算随机变量参数	(225)
§ 9-5 随机过程	(226)
§ 9-6 随机过程时间平均值	(229)
§ 9-7 线性系统对随机信号的响应	(230)
§ 9-8 小结	(231)
第十章 有限字长分析	(232)

§ 10-1	引言	(232)
§ 10-2	转换器误差	(232)
§ 10-3	算术运算	(240)
§ 10-4	补偿器系数表示法	(245)
§ 10-5	灵敏度系数	(246)
§ 10-6	换算	(250)
§ 10-7	仿真	(251)
§ 10-8	量化引起的极限循环现象	(251)
§ 10-9	小结	(257)

第十一章 级联补偿..... (258)

§ 11-1	引言	(258)
§ 11-2	设计方法	(258)
一、	DIG (数字化) 法	(260)
二、	DIR (直接) 法	(261)
§ 11-3	葛莱明-吐鲁克塞 (Guillemin-Truxal) 补偿法 (DIG)	(262)
§ 11-4	超前级联补偿 (DIG 和 DIR)	(265)
一、	s 平面 DIG 设计	(266)
二、	w 平面 DIG 设计	(268)
三、	z 平面 DIR 设计	(269)
四、	频率响应特性	(270)
§ 11-5	滞后和滞后-超前补偿器 (DIG 和 DIR)	(272)
一、	滞后补偿	(272)
二、	滞后-超前补偿	(275)
三、	PID 控制器	(276)
§ 11-6	应用求均方误差最小值的频域补偿设计	(278)
§ 11-7	数字滤波器	(280)
§ 11-8	数字控制器的软件	(285)
一、	数字控制系统的程序执行	(286)
二、	数据输入	(289)
三、	滤波器程序 (简单二阶滤波器)	(293)
四、	数据输出	(293)
五、	重要实现的注释	(293)
§ 11-9	非周期响应	(294)
§ 11-10	小结	(295)

第十二章 反馈补偿..... (296)

§ 12-1	引言	(296)
--------	----------	-------

§ 12-2	一般分析	(297)
§ 12-3	DIR 法	(299)
一、	葛莱明-吐鲁克塞法	(299)
二、	根轨迹法	(300)
§ 12-4	DIG 法	(301)
§ 12-5	有害干扰	(304)
一、	DIG 法	(304)
二、	DIR 法	(307)
§ 12-6	小结	(307)

第十三章 数字控制系统软件工程..... (309)

§ 13-1	引言	(309)
§ 13-2	软件品质	(309)
§ 13-3	要求分析	(311)
一、	数据流图(DFD).....	(311)
二、	DFD 的形成	(313)
§ 13-4	软件设计	(316)
一、	模块的耦合	(317)
二、	模块的内聚	(320)
三、	设计方法	(322)
四、	启发式设计	(325)
五、	变换分析	(326)
六、	事务分析	(329)
七、	其它设计方法	(330)
§ 13-5	结构程序设计	(331)
一、	程序控制结构	(331)
二、	结构编程应用	(336)
三、	编程风格	(336)
§ 13-6	软件测试	(339)
一、	测试方法	(340)
二、	调试	(341)
§ 13-7	小结	(342)

第十四章 数字控制的实时操作系统..... (343)

§ 14-1	引言	(343)
§ 14-2	实时操作系统的要求	(344)
§ 14-3	输入-输出管理	(344)
§ 14-4	任务调度	(345)

§ 14-5	存储管理	(347)
§ 14-6	实时操作系统的一些例子	(349)
一、	简单实时操作系统	(349)
二、	扩展的实时操作系统	(351)
三、	有 I/O 中断的实时操作系统	(352)
四、	有辅助存储器的实时操作系统	(352)
五、	存储器分区的实时操作系统	(355)
六、	其它实时操作系统	(356)
§ 14-7	公共资源的存取	(356)
§ 14-8	监视计时器	(359)
§ 14-9	采样时间的选择	(360)
一、	单速率采样	(360)
二、	多速率采样	(361)
§ 14-10	实时操作系统的用户接口	(362)
§ 14-11	小结	(362)
第十五章	离散状态变量建模	(364)
§ 15-1	引言	(364)
§ 15-2	连续数据控制系统状态变量表示法	(364)
§ 15-3	采样数据控制系统的时间域状态方程和输出方程	(370)
§ 15-4	离散时间单输入单输出系统时间域的状态变量表示法	(373)
一、	相位-变量法	(373)
二、	规范-变量法	(378)
三、	物理-变量法	(383)
四、	状态转移方程	(385)
五、	状态变量表示法小结	(386)
§ 15-5	z 域中采样数据控制系统状态变量的表示法	(387)
§ 15-6	系统稳定性	(392)
§ 15-7	采样间隔之间的时间响应	(395)
§ 15-8	状态变量反馈: 参数不敏感性	(396)
一、	状态反馈连续时间控制系统	(397)
二、	状态反馈 H 等效数字控制系统	(400)
三、	设计步骤	(403)
§ 15-9	小结	(405)
习题		(406)
部分习题答案		(440)
附录		(459)
附录 A	傅里叶变换	(459)

附录 B	卷积	(462)
附录 C	帕德 (Pade) 近似法	(463)
附录 D	幂级数	(466)
附录 E	数字和连续控制系统分析与综合的交互式 计算机辅助设计 (CAD) 程序	(467)
附录 F	PDP-11/LSI-11 汇编语言	(472)

第一章 绪 论

§ 1-1 引 言

过去的 40 年已经证明应用于连续时间控制的经典和现代控制理论已经牢固的建立起来了。这种理论不仅彻底改革了工业过程,而且已经使人类开始探索自然界。虽然采样数据或离散控制理论在近 30 年内已经得到了发展,但由于理论本身和物理实现上的问题,它应用于实际系统的发展还是缓慢的。

工程师和科学家企图设计系统到尽善尽美的程度。即试图达到理想的系统性能。但是,对于一个实际的控制系统,元件的物理实在很大程度上限制了它不能达到理想系统能够达到的性能。随着数字计算机的发展,它作为计算装置,一般的情况下使得控制更精确,但运算速度受到限制。然而,在现代空间探索的成就中,结果表明,精度是关键因素。微处理机、微型计算机以及它们用作为控制元件的进展,已经成了一种推动力;不仅提高了对这些系统的理论分析和综合方法,而且使得设计的控制系统更接近于理想系统的性能。

由于在数字控制系统的实现中计算机起着很重要的作用,因此,简单地讲述一下它的演变很有必要。开始的计算装置是手指、石子和棍棒,用人的大脑来处理需要计算的部分。古往今来,人类一直希望有更快、更精密、能重复的计算。这样,从算盘演变到加法器的卡片存储器。在本世纪,由于电子装置的发展(像电子管、晶体管、集成电路),有了扩展的算术运算和大的存储装置。这些电子装置的发展,允许用更小的操作能量得到相当快的操作运算。这种不断演变的结果,出现了更小、更精确、更快、更经济实用的计算机。微处理机就是一个极好的例子。软件或计算机程序的生成方法在近 30 年内已得到了改进。有关结构程序设计和软件工程的概念在任何一种算法上,特别是数字控制算法方面很重要,适当的使用这些方法会使我们得到一种较好的结构,这种结构便于理解、快速检验和快速求值以及经济地更改和维护。在一个实时数字控制系统中,数据结构和指令处理都极大的影响着系统的性能。因此,对任何一种分析都必须从整体考虑。

在数字控制领域,实时处理是成功实现的关键。这样,如果使用合适的硬件、软件和实现方法,那么现在的许多控制系统都能用小而快的微处理机系统。本书的目的是对下面几个方面提出进一步的讨论:数字控制系统的术语、采样数字控制系统的分析和综合、实际的实现方法和软件、硬件的考虑。在本书中,我们将从各个侧面(理论、软件、硬件)来讨论通用数字控制系统的各个方面。图 1-1 给出了三个最简单的控制系统的配置或结构。图 1-1(a)是一个开环控制系统,它代表了许多工业过程装置。另外二个闭环系统代表了最常见的控制系统,这些系统的性能指标比较严。经典连续控制理论的基础知识,对于我们全面地了解本书的控制理论是一个必要条件。而且需要说明的是:数字控制理论是连续控制理论的延伸。

9410008

— 1 —