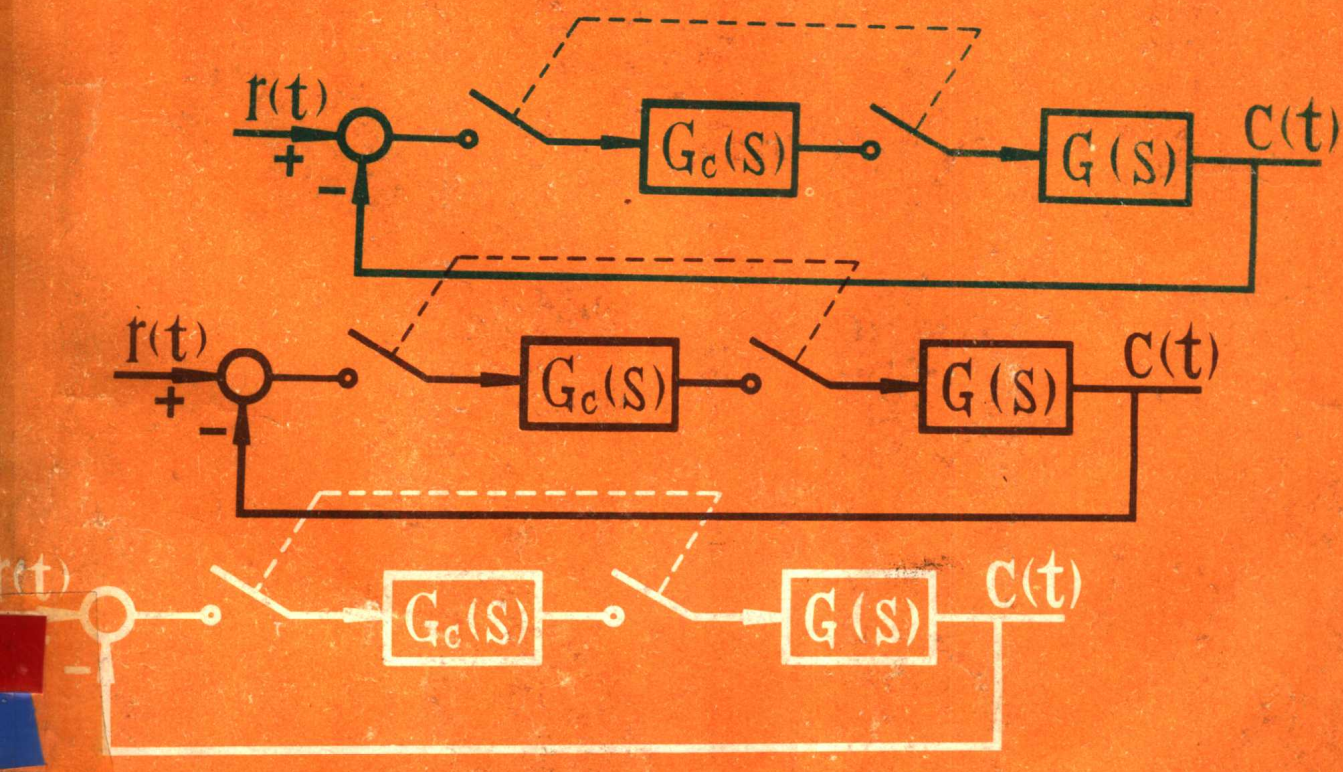


高等学校教学参考书

数字控制系统

著者 [美] 本杰明·C·郭

译者 杨仲平 张春源 赵国藻 姚承三



中国矿业学院出版社

数 字 控 制 系 统

[美] 本杰明·C·郭

杨仲平 张春源 赵国藻 姚承三 译

中国矿业学院出版社

内 容 提 要

本书介绍了数字控制系统的分析和设计方法。主要包括：信号的转换和处理，采样过程， z 变换和扩展 z 变换，状态变量综合处理法，数字系统稳定性分析，数字仿真，数字系统的时域和频域分析，传统设计方法在数字控制系统的推广，状态反馈和输出反馈，数字系统的最优控制，以及微处理机控制系统等。

本书可供高等学校电气工程、自动控制以及计算机应用等专业的师生阅读，也可供从事实践工作的有关科技人员参考。

责任编辑：胡玉雁

DIGITAL CONTROL SYSTEMS
BENJAMIN · C · KUO

*

数 字 控 制 系 统

[美] 本杰明 · C · 郭

杨仲平 张春源 赵国藻 姚承三 译

中国矿业学院出版社 出版、发行

中国矿业学院印刷厂 印刷

开本787×1092毫米1/16 印张31.5 字数756千字

1987年9月第1版 1987年9月第1次印刷

印份1—3000册

ISBN 7-81021-005-X/TP · 1

统一书号：15443 · 019 定价：5.15元

前 言

本书是美国伊利诺斯大学B.C.郭教授为高年级大学生或一年级研究生编写的教材，它适用于自动控制，工企自动化，以及有关计算机应用等专业。该书是作者多年讲授该课程的成果。

从内容及体制来看，本书可视为“自动控制系统”一书的姐妹篇（该书亦本书的作者所著，1983年由水利电力出版社组织翻译出版），“自动控制系统”着重分析连续控制系统，而本书则主要研究采样数据或数字控制系统。从当前国内大力普及和推广计算机及其应用知识的需求来说，本书将是一本系统介绍有关数字系统分析和设计的优良教材。作者写书着重物理概念的介绍，选材能结合实用，使人感到学后能够掌握，解题有例可循，高深的理论讲述条理清晰，深入浅出。本书也适合作为从事现场实际工作的工程师们作为提高理论水平的自学参考书。

本书第一、二、三、十章由西安矿业学院杨仲平同志译出，第五、六、七、八章由北京煤矿机械厂主任工程师张春源同志译出，第四、九章由西安矿业学院赵国藻同志译出，第十一、十二、十三、十四章由中国矿业学院姚承三同志译出，全书统稿工作由杨仲平同志主持。全书由中国科学院研究生院无线电电子技术教研室主任丁寄屏同志和中国科学技术大学研究生院外语部副主任袁道之同志审校。他们对译稿提出许多宝贵意见，谨此表示深切地感谢。

译者对书中个别刊误、漏误作了补正，对某些问题加了译注，供读者参考。由于译者水平有限，译文中难免出现错误和不妥之处，欢迎读者批评指正。

译 者

序 言

本书是SRL出版社1977年出版的“数字控制系统”扩充修订本。自1963年以来,作者编写了关于数字和采样数据控制系统课题的数本书。第一本书是“采样数据控制系统的分析和综合”,1963年由普伦梯斯-豪(Prentice-Hall)出版社出版。这本早期著作的特点是着重采样数据系统的经典分析和设计,并有一章研究非线性系统。一般说,该书详尽地处理了有关采样控制系统所涉及的很多方面问题。第二本书为“离散数据控制系统”,是普伦梯斯-豪出版社在1970年出版的。与1963年版相比,该书采用了全新的方法,用状态变量法和现代控制理论来处理。本书(数字控制系统)则为“离散数据控制系统”一书的扩充修订本。

在60年代,在航天工业发展的高峰时期,采样数据控制理论的进展也达到了最兴盛的阶段。在此期间,发表了大量有关离散数据和采样数据控制系统的论文和书籍。近年来,虽然在航空部门的研究和发展活动已经稳定下来了,但微计算机和微处理器以及过程控制工业中取得的进展,赋予了数字控制系统理论以新生命。无论如何,微处理器控制的普及使得数字控制系统理论成为新的重点研讨对象。由于微处理器属于慢速数字机,它通常配备的字长短,故在设计数字控制系统的时候,有必要重视这些限制条件,时间延迟的影响,以及幅值量化等问题。许多从事实践的工程师们在控制系统中使用微处理器,只简单地采取模拟控制算法,和选用一个很小的采样周期,企图保持整个系统稳定。这种结构对许多非临界状况也许可行,但对临界设计情况来说,此法就不可接受了。

对于那些熟悉“数字控制系统”第一版的读者来说,本版在内容上作如下修改:

1. 扩充了传统的分析和设计方法。采取这一步骤的原因是工业界中所设计的大多数系统目前仍沿用传统设计方法。对模拟和数字控制系统都是如此。

2. 数字控制系统的设计方法大大地扩充了。第十章提供了各种传统的以及现代控制理论的设计方法。

3. 增加了有关微处理器控制的一章。很难划一条线,划定微处理机应用方面有多大份量和哪些部分内容应包含在本教科书中。大多数电气工程教学计划现在都有微处理器应用的课程。作者认为程序方面的内容不属于本书范围。然而,本书的读者不可能精通微计算机的程序设计。最可能的情况是:控制系统工程师被指定担负设计数字控制系统,而程序员或软件工程师却更适宜数字控制器的程序编制。然而,更重要的是,控制系统设计者要了解微型计算机如何工作,而且了解所有的编程过程,以便使实际设计出的数字控制器能够符合对微计算机的所有实际限制条件。根据这个理由,第十四章介绍了微处理器的基本组成部分和程序逻辑,但未深入探讨具体的细节,只重点指出由于有限字长而引起的时间延迟,以及量化所造成的全部影响。

4. 为节省篇幅并使扩充材料能占有一定篇幅,略去了统计设计的章节。由于这次新版适用于高年级学生或一年级研究生水平,故省略统计设计材料对大多数读者就算不上是严重缺陷了。

5. 家庭作业也已经扩充了。在习题部分介绍了许多实际分析和设计问题。

作为一本大学教科书,教材份量应超过一学期的课程内容。这就使讲授者在选择他所喜用的课题时有一些灵活性。所有材料都经由作者在美国伊利诺斯大学厄班纳-香潘分校(University of Illinois at Urbana-Champaign)讲授过。本书也准备满足从事实践工作的工程师的需要,它适合于作为自学目的及参考书。

假定读者已具备了反馈控制系统基本原理的知识。矩阵代数、拉氏变换等基础是必须的。状态变量分析法和微处理器程序设计的初步知识也将是有益的。

第一章一般介绍了数字控制系统的内容,给出了一些数字控制系统的典型实例。

第二章包括信号转换,信号处理以及采样过程。本章给出对控制系统中数字化数据和信号的数学及分析处理。第三章给出 z 变换理论的一种细致处理方法。扩展 z 变换、信号流图的应用、非均匀及多率数字控制系统亦包括在本章中。第四章给出适用于数字系统的状态变量综合处理方法,包括时不变和时变系统。第五章包括稳定性内容,给出了各种不同的检验线性控制系统稳定性的方法。李雅普诺夫第二方法及其在最优系统设计中之应用亦包括在内。第六章内容为数字仿真,还要讨论数值积分和 z 变换方法。本章亦将包括数字再设计课题,即用等值数字系统如何去逼近一个连续数据系统。第七章的内容是数字控制系统的时域分析。重点放在从极零点位置预估时间响应,根轨迹法,稳态及暂态响应等。第八章是控制系统的频域分析。一些传统的方法,如奈奎斯特判据,伯德图,尼柯尔斯图,增益裕量和相角裕量等,均将推广至数字控制系统。第九章从事研究能控性,能观测性,以及时间最优控制。第十章包括范围广泛的设计方法,从传统方法到状态反馈和输出反馈控制。第十一章到第十三章重点研究数字控制系统的最优控制。内容包括极大值原理,最优线性调节器设计。最后第十四章为微处理器控制。

本书包含大量例题,许多是根据作者实际经验而导出的,当然大多数问题已经过简化,以适应教科书中的表达方式。在每章之末,许多实际数字控制系统习题列于习题栏内。关于习题解,使用者可询问出版商*。

作者感谢他的许多研究生们,他们以毕业论文和课堂讨论的形式提供了帮助,在许多方面为本书选材作出了贡献。作者也愿提及他的女儿Tina,她为本书做了大多数图例,另外两个女儿Lori和Lina,则校对了打印手稿。特别要感谢作者的前任秘书Jane Carlton,她以内行的高效率方式打印了全部手稿。最后,作者愿称赞他的妻子Margaret,多年来在本书以及其他科研项目中,她在许多方面作出了贡献。没有她精神上和物质上的帮助,这些项目将是永远无法完成的。

本杰明 C. 郭

于美国,伊利诺斯,厄班纳

目 录

第一章 绪论	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 控制系统采样化的优点	(3)
1.3 离散数据系统和数字控制系统的例子	(3)
参考文献	(6)
第二章 信号转换和处理	(7)
2.1 引言	(7)
2.2 数字信号和编码	(8)
2.3 数据变换和量化	(12)
2.4 采样保持装置	(14)
2.5 数-模 (D/A) 转换	(17)
2.6 模-数 (A/D) 转换	(20)
2.7 采样过程的数学处理	(24)
2.8 采样定理	(37)
2.9 $F^*(s)$ 在 s 平面上的几个性质	(37)
2.10 采样信号的重建	(39)
2.11 零阶保持器	(41)
参考文献	(43)
习题	(44)
第三章 z 变换	(49)
3.1 z 变换的定义	(49)
3.2 z 变换的计算	(50)
3.3 s 平面与 z 平面间的映射	(53)
3.4 z 反变换	(55)
3.5 z 变换定理	(59)
3.6 z 变换法的限制	(65)
3.7 脉冲传递函数	(66)
3.8 零阶保持器的冲激传递函数以及 $G(s)$ 和 $G(z)$ 间关系	(68)
3.9 采样点间的响应	(70)
3.10 信号流图法在数字系统中的应用	(76)
3.11 多率数字系统	(87)
参考文献	(96)
习题	(98)

第四章 状态变量法	(106)
4.1 引言	(106)
4.2 连续数据系统的状态方程和状态转移方程	(106)
4.3 有采样-保持装置的数字系统的状态方程	(110)
4.4 具有全数字元件的数字系统的状态方程	(112)
4.5 数字时变系统的状态转移方程	(112)
4.6 数字定常系统的状态转移方程	(114)
4.7 数字仿真与逼近	(115)
4.8 用 z 变换求解定常离散状态方程	(116)
4.9 状态方程与传递函数间的关系	(118)
4.10 特征方程、特征值和特征向量	(120)
4.11 矩阵 A 的对角化	(125)
4.12 若当(Jordan)标准形	(127)
4.13 计算状态转移矩阵的方法	(130)
4.14 数字伴随系统	(135)
4.15 状态方程与高阶差分方程间的关系	(136)
4.16 变换成相变量标准形	(138)
4.17 状态图	(143)
4.18 数字系统的分解	(148)
4.19 采样数据控制系统的状态图	(152)
4.20 用状态变量法求采样数据系统在两个采样点间的响应	(156)
4.21 有多速、跳速和非同步采样的离散时间系统的分析	(157)
4.22 状态平面分析法	(161)
参考文献	(169)
习题	(170)
第五章 数字控制系统的稳定性	(178)
5.1 引言	(178)
5.2 稳定性的定义	(179)
5.3 数字系统稳定性准则	(185)
5.4 李雅普诺夫第二方法[2]	(191)
参考文献	(197)
习题	(199)
第六章 数字仿真和数字再设计	(204)
6.1 引言	(204)
6.2 数字仿真-带采样和保持装置的数字仿真	(204)
6.3 数字仿真-数值积分	(207)
6.4 采用 z 型式的数字仿真	(212)
6.5 数字再设计	(216)

参考文献	(228)
------	-------

习题	(229)
----	-------

第七章 时域分析	(232)
----------	-------

7.1 引言	(232)
--------	-------

7.2 连续数据和数字控制系统的时域响应比较	(233)
------------------------	-------

7.3 时间响应和 s 平面及 z 平面上根位置之相互关系	(238)
-----------------------------------	-------

7.4 在 z 平面上零极点位置对采样数据系统的 最大超调量和暂态响应峰值时间的影响	(240)
---	-------

7.5 数字控制系统的根轨迹图	(246)
-----------------	-------

7.6 数字控制系统稳态误差分析	(251)
------------------	-------

参考文献	(255)
------	-------

习题	(257)
----	-------

第八章 频域分析	(265)
----------	-------

8.1 引言	(265)
--------	-------

8.2 奈奎斯特图[1]	(266)
--------------	-------

8.3 伯德图[1]	(273)
------------	-------

8.4 增益裕量和相位裕量	(274)
---------------	-------

8.5 增益-相位图和尼柯尔斯图线	(276)
-------------------	-------

8.6 带宽的研究	(276)
-----------	-------

8.7 频域曲线的计算机程序	(279)
----------------	-------

参考文献	(284)
------	-------

习题	(284)
----	-------

第九章 能控性和能观测性	(286)
--------------	-------

9.1 引言	(286)
--------	-------

9.2 能控性的定义	(287)
------------	-------

9.3 关于能控性的定理(时变系统)	(287)
--------------------	-------

9.4 关于能控性的定理(定常系统)	(289)
--------------------	-------

9.5 能观测性的定义	(292)
-------------	-------

9.6 关于能观测性的定理(时变系统)	(292)
---------------------	-------

9.7 关于能观测性的定理(定常系统)	(293)
---------------------	-------

9.8 能观测性与能控性间的对偶关系	(295)
--------------------	-------

9.9 能控性、能观测性与传递函数间的关系	(296)
-----------------------	-------

9.10 能控性、能观测性与采样周期	(298)
--------------------	-------

9.11 例题	(298)
---------	-------

9.12 能控性的不变性定理	(302)
----------------	-------

参考文献	(304)
------	-------

习题	(305)
----	-------

第十章 数字控制系统的设计	(308)
---------------	-------

10.1	引言	(308)
10.2	利用连续数据控制器的级联分解	(310)
10.3	采用连续数据控制器的反馈校正	(319)
10.4	数字控制器	(322)
10.5	用双线性变换法设计带数字控制器的数字控制系统	(333)
10.6	利用根轨迹图的 z 平面设计法	(338)
10.7	数字PID 控制器	(348)
10.8	设计带非周期响应*的数字控制系统	(351)
10.9	利用状态反馈的极点配置设计法(单输入)	(361)
10.10	利用状态反馈的极点配置设计法(多输入)	(367)
10.11	利用不完全状态反馈或输出反馈的极点配置设计法	(369)
10.12	用状态反馈和动态输出反馈设计数字控制系统	(375)
10.13	用动态控制器实现状态反馈	(380)
	参考文献	(387)
	习题	(387)

第十一章 极大值原理设计法 (396)

11.1	离散欧拉-拉格朗日方程	(396)
11.2	离散极大值(极小值)原理	(400)
11.3	带能量约束的时间最优控制	(404)
	参考文献	(408)
	习题	(409)

第十二章 最优线性数字调节器设计 (411)

12.1	引言	(411)
12.2	线性数字调节器设计(有限时间问题)	(412)
12.3	线性数字调节器设计(无限时间问题)	(416)
12.4	最优性原理和动态规划	(419)
12.5	离散黎卡提方程的解	(422)
12.6	采样周期灵敏度	(429)
	参考文献	(436)
	习题	(437)

第十三章 数字化状态观测器 (442)

13.1	引言	(442)
13.2	全阶状态观测器的设计	(443)
13.3	降阶状态观测器的设计	(451)
	参考文献	(457)
	习题	(457)

第十四章 微处理器控制 (458)

14.1	引言	(458)
------	----	-------

14.2 基本的计算机结构.....	(458)
14.3 机器语言编程.....	(464)
14.4 控制系统的微处理器控制.....	(469)
14.5 微处理器控制系统若干限制的影响之一般性讨论.....	(472)
14.6 有限字长对能控性和闭环极点配置的影响.....	(472)
14.7 以微处理器为基础的控制系统中的延时.....	(476)
14.8 量化的影响-量化误差的最小上限.....	(479)
参考文献.....	(485)
习题.....	(487)

第一章 绪 论

1.1 引 言

近年来在离散数据系统和数字控制系统方面取得了显著的进展。在所有工业中这些系统都得到了广泛应用和重视，部分原因是数字计算机（最近是微计算机）的发展带来的，同时也由于应用数字信号处理显示的许多优点。

离散数据系统及数字控制系统和连续数据或模拟系统的不同点是：系统中一部分或多部分的信号是以脉冲序列或数码形式出现的。在控制文献中，如采样数据系统、离散控制系统、离散数据、离散时间系统，以及数字系统等术语一直被不很确切地使用着。严格地说，采样数据是指被调幅的脉冲信号，即具有信号信息的调幅载波脉冲列；而数字数据通常指由数字计算机或数字转换器产生的信号，具有某种电码形式。然而，以后将表明，对于实际系统例如一个工业过程控制，通常是比较复杂的，既包括模拟和采样数据，也包括数字数据。因此，在本书中我们将在广泛意义上使用离散数据系统这一名词，来描述产生某种形式数字或采样信号的所有系统。

图1-1表示一个带采样数据的典型闭环系统的基本环节。采样器简单表示为一个开关或操作，在它输出端的信号形式是一个周期或非周期脉冲列，在两个相继脉冲之间并无信息传输。图1-2表示一个采样器的一般工作过程。连续信号 $e(t)$ 被采样器所采样，采样器的输出是一个脉冲列。在本例中假定采样器具有均匀的采样率。采样瞬间的脉冲幅值即为输入信号 $e(t)$ 在相应瞬间的数值。一般来说，存在多种不同的采样结构：有周期性的、循环采样率的、多采样率的、随机的、以及脉冲调宽的采样方式等等。实际系统中最常用的是单采样率和多采样率两种。本书将讨论这些不同的采样方式及其效果。

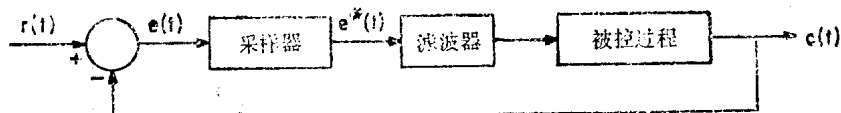


图1-1 闭环采样数据控制系统

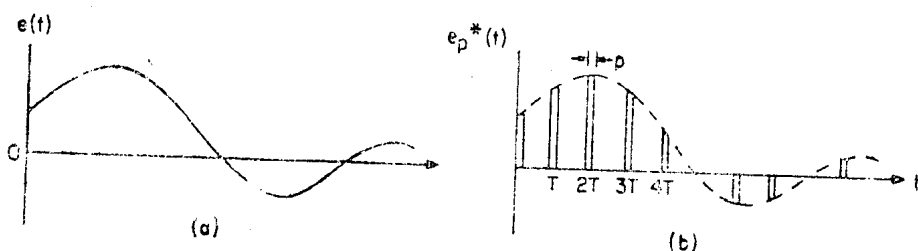


图1-2

a) 采样器的连续数据输入；b) 采样器的离散数据输出

在采样器和被控过程间设置滤波器供平滑滤波用，因为大多数被控过程原来被设计成只适于接受模拟信号。

系统中一处或多处出现数码供数字计算机或数字转换器处理时，则可定义这种系统为数字控制系统。典型数字控制系统的方框图如图1-3所示。在系统的某些部分出现数码(例如二进制码)信号后，则需要采用数-模(D/A)和模-数(A/D)转换器。虽然采样数据系统和数字控制系统的结构和组成元件存在基本差别，但我们将表明，从解析观点来说，两种系统可用同样的分析方法加以处理。

控制系统中使用采样数据至少可以追溯到七十年前。采样数据的早期应用是为了改善控制系统的性能。例如由奥登伯格 (Oldenbourg) 和塞脱瑞斯 (Sartorius) 研制的落弓式检流计[1]中 (见图1-4)，采样过程的效果能使一个低电平输入信号产生较高的系统灵敏度。

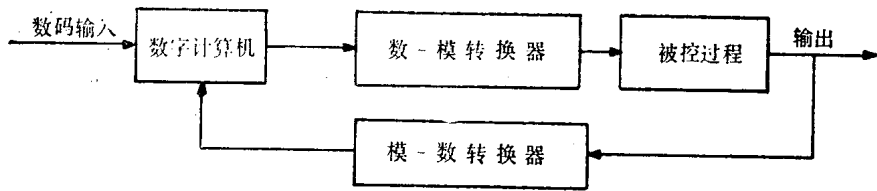


图1-3 典型数字控制系统

参看图1-4，正常情况下有一小信号施加于检流计线圈。落弓周期地向下摆动，于是检流计伸出的指针使负载受力，受力大小和信号强度成比例。这样，施加于负载轴上的转矩就由落弓传动装置决定，它比由检流计线圈所产生的力矩大得多。

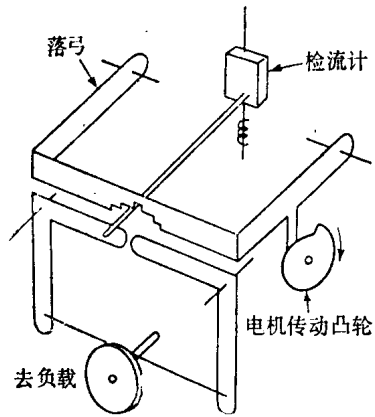


图1-4 落弓式检流计

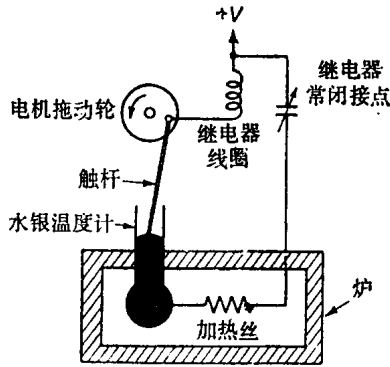


图1-5 一个利用采样的恒温炉控制系统

控制系统中另一个早期应用采样概念的著名例子是高耶 (Gouy) 设计的恒温炉[2]。系统包括的元件表示于图1-5中，系统的目标是在所有时间内维持炉内温度恒定不变。当接触电杆沉入水银中时，电流通过继电器线圈，促使继电器回路开路，中断了加热电流。由于触杆周期性地沉入水银，故加热电流是一个脉冲序列。而且，触点沉入水银的时间决定于水银液面高度，液面又和炉温有关，所以加热电流的脉宽随炉温成比例变化，但脉冲幅值均相等。采样数据温度控制系统的一组典型信号如图1-6所示。和常规的采样结构相对比，例如图1-2所示结构中信号幅值被采样后用脉冲幅值传送出去，而图1-6所示采样

数据的脉冲幅值不变, 信号的信息靠脉冲宽度传递。因此, 我们看到实际上有许多方法采样一个信号, 或者更简明地说, 采样形式的信号不只一种表现方式。

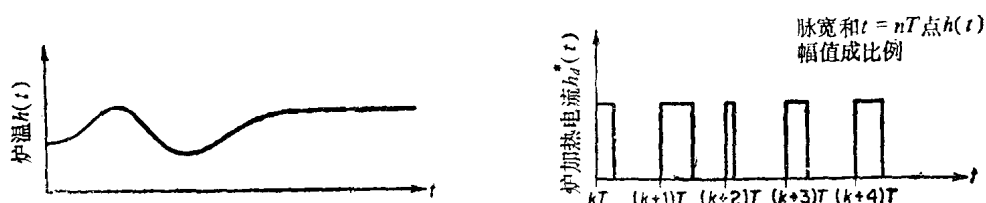


图1-6 脉宽采样器的输入和输出

1.2 控制系统采样化的优点

上节给出采样数据系统的两个例子仅仅表明在控制系统中采样化的早期应用。为完整了解在控制系统中利用采样的优点和利益, 我们可能提出一个很自然的问题: “为什么要离散数据?”, 换句话说, 究竟什么是采样化的优点和特点, 使采样数据系统和数字控制系统在近代控制技术中显得如此重要呢? 为回答这些问题, 我们必须首先认识到, 许多物理系统具有内在采样化, 或者说它们的性质可以用采样数据或数字模型来描述。例如, 一个雷达跟踪系统的信号传输和接收是以脉冲列的形式进行的。雷达的扫描操作就完成一个采样器的功能, 即将方位角和俯仰角两个信息同时转换成采样数据。有为数众多的现象, 社会的、经济的或生物学系统, 它们的动态性能都可以用采样数据模型加以模拟。

许多近代控制系统故意加以采样化或含有数字处理器。采样数据和数字控制的一些优点可列举如下:

- 灵敏度提高
- 可靠性较好
- 无漂移
- 噪声和干扰造成之影响少
- 结构紧凑、重量轻
- 费用低
- 编程灵活性较好

上节描述的落弓式检流计系统就是一个采样化后如何增进灵敏度的例子。在该例中, 为控制目的, 通过采样过程把一个小信号放大了。

数字控制器的一个显著优点是比较模拟控制器有更大的通用性。可以规定表征数字控制器的程序去适应设计中的变化, 或去适应预定的性能, 而不必使硬件作任何改变。由电子元件, 传感器和编码器等构成的数字式组件和模拟式对应产品比较, 时常是更为可靠, 结构更坚固, 尺寸也更紧凑。这些十分明显的对比促使控制系统技术迅速向数字式转化。

1.3 离散数据系统和数字控制系统的例子

在本节中, 我们将列举几个离散数据系统和数字控制系统的典型例子。目的只限简单表明这些系统的必要组成部分, 而其包含的内容则不准备详尽讨论。

一个简化的单轴自动驾驶仪控制系统

图 1-7 表示一个飞机或导弹简化的单轴(俯仰, 偏航, 或横滚)模拟式自动驾驶仪方框图。这是一个典型的模拟或连续数据系统, 其中信号可以表示为连续时间常量 t 的函数。控制的目标是使飞行体的飞行姿态能跟随指令信号的变化。此处接入的速度环是为增进系统稳定性。图 1-8 系统采用了带必要模-数 (A/D) 和数-模 (D/A) 转换器的数字控制器, 以取代图 1-7 中之模拟控制器, 也可达到同样目标。由于除了数字控制器之外, 系统的其余组件仍为模拟式的, 故需要 A/D 和 D/A 转换器达到信号配合目的。

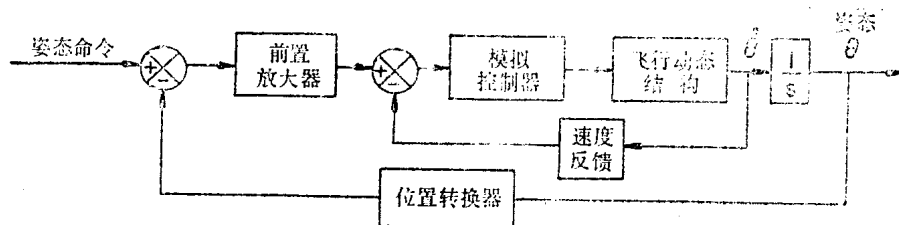


图 1-7 具有模拟数据的简单单轴自动驾驶仪控制系统

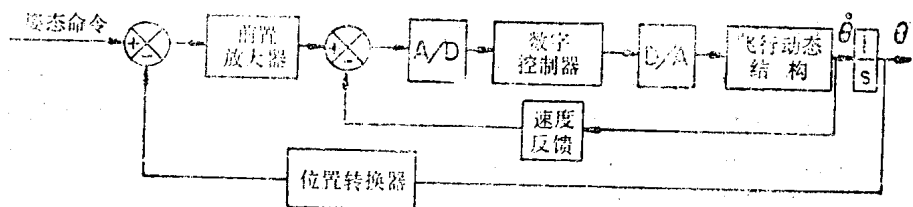


图 1-8 具有数字数据的简单单轴自动驾驶仪控制系统

图 1-9 表示一种数字式自动驾驶仪控制系统, 其中位置和速度信息是由数字传感器获得的, 在方框图上用采样-保持开关表示其动作。采样器主要在某些均匀采样周期处对一个模拟信号采样, 而保持开关则简单地保持该信号值, 直到下一次采样到来为止。图 1-9 绘出了两个采样器具有不同的采样周期 T_1 和 T_2 的情况。一般来说, 如果一个回路中信号变化速度比另一个回路小得多, 则较慢回路使用的采样器采样周期可以较大。图 1-9 所示系统具有不同采样周期的数个采样器, 通称为多率采样数据系统。

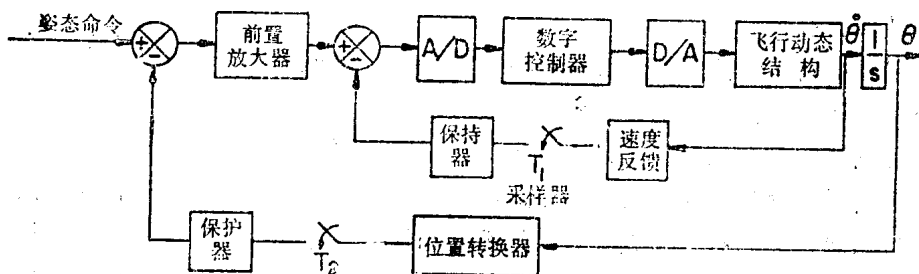


图 1-9 具有多率采样的简单单轴数字式自动驾驶仪控制

使用采样和多率采样的一个优点是: 系统的某些昂贵组件可以在分时的基础上加以利用。

一个数字计算机控制的轧钢机调节系统

许多工业过程用数字计算机和数字转换器加以控制和监视。实际上, 近代轧钢机全都

是用数字计算机调节和控制的。图1-10表明这一系统的基本元件。图1-11表示该系统厚度控制部分的方框图。

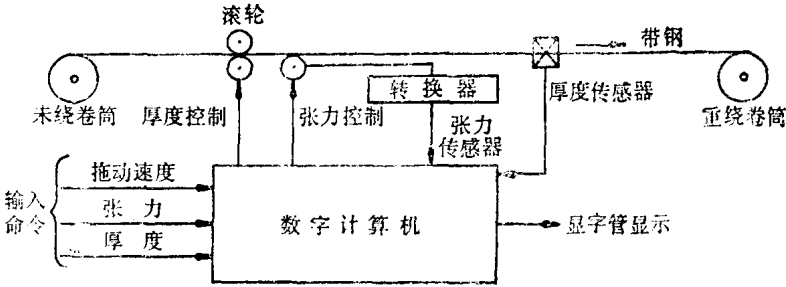


图1-10 一个计算机控制的轧钢机调节系统

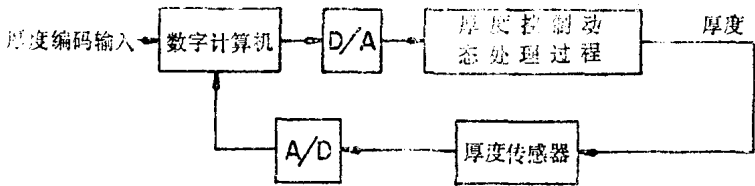


图1-11 轧钢机调节系统的厚度控制

一个汽轮机和发电机用的数字控制器

图1-12表示一种小型计算机系统方框图及其主要元件，它用于汽轮机-发电机组的速度和电压控制，以及数据采集。D/A转换器组成数字计算机和速度及电压控制间的接口。数据采集系统实现对下列一些变量的测量：发电机速度、转子角度、端电压、磁场和电枢电流、有功和无功功率等。有些变量可由数字式传感器测量，然后经数字转换器传送至计算机，如图1-13所示。由模拟式传感器所测出的量首先送入一个模拟多路转换器，它在大量不同输入信号之间执行分时多路操作。每个输入信号通道都在一特定时间周期内和多路转换器的输出相连接。多路转换器下接系统就可在大量信号通道间分时工作。图1-14表示一种系统变量由模拟传感器测量的数据采集系统。模拟式多路转换器的输出端和采样保持装置相连，该装置在固定时间间隔处对多路转换器的输出采样，然后在其输出端保持该信号电平不变，直到A/D转换器完成其模-数转换为止。

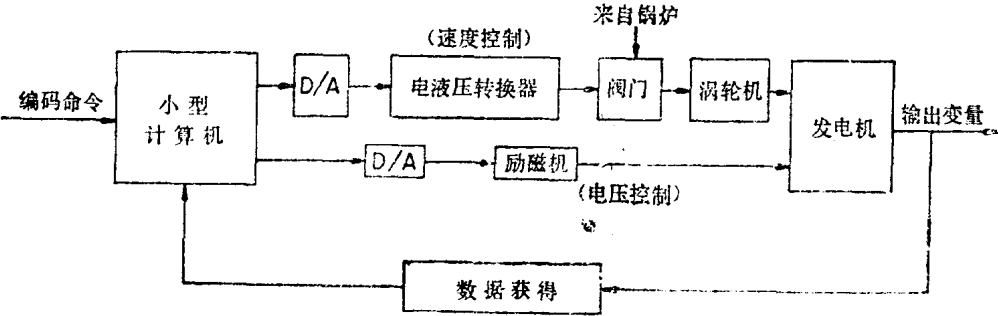


图1-12 汽轮机-发电机组的计算机控制

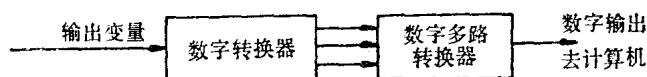


图1-13 一个数字式数据采集系统

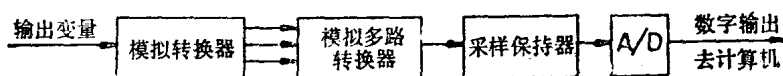


图1-14 带模拟传感器的数据采集系统

一个步进式电机控制系统

有时我们可能遇到一个包含全数字式元件的系统，因之就无需使用 A/D 和 D/A 转换器去达到信号间的配合。图 1-15 表示这样一种系统，它用于控制计算机存储磁盘的读写磁头。磁盘拖动系统所用的主移动器为步进电机，它靠脉冲指令驱动。对于每一个脉冲输入，步进电机移动一个固定的位移增量。因此，可以认为系统是全数字式的。

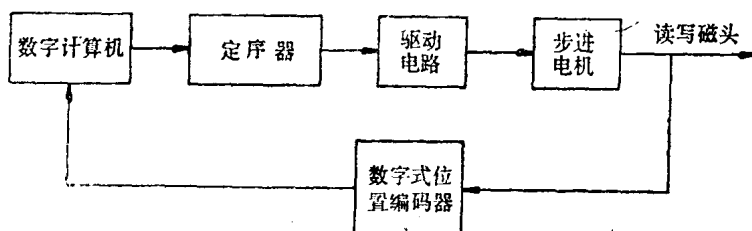


图1-15 用于磁盘上读写磁头位置拖动的步进电机控制系统

一个支付利息问题的离散数据模型

迄今为止，我们已经列举了自然界有形的数字系统，还有无数的社会的和经济的系统也可以用离散数据系统模型加以模型化。我们知道，模拟动态系统可以用微分方程来描述，它的变量是连续变量 t 的函数。对于离散数据系统，系统动态性能由差分方程描述。离散数据模型的变量既是离散时间变量 kT ($k=0, 1, 2, \dots$) 的函数，其中 T 为常数，或者简单地说，也是离散变量 k 的函数。

我们考虑一个支付利息问题，问题规定如下：

假设最初借入资本数目为 P_0 。对未付欠款的利率为每期 r 厘。我们规定在 N 个周期内，分 N 次还清本金和利息，每次支付相等的款项 u 。于是可写出形容此问题的差分方程：

$$P_{k+1} = (1+r)P_k - u \quad (1-1)$$

式中 P_{k+1} 为在第 $(k+1)$ 个周期之末仍未还的欠款。边界条件已知为 P_0 和 $P_N = 0$ 。式 1-1 中之差分方程可用递推法或 z 变换法对 u 解出。该方程为一阶差分方程。图 1-16 表示该离散系统模型的方框图形式。

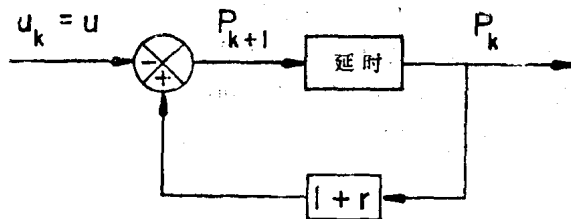


图1-16 支付利息问题的离散数据系统模型

参 考 文 献

1. Oldenbourg, R.C., and Sartorius, H., *The Dynamics of Automatic Control*. American Society of Mechanical Engineers, New York, 1948.
2. Gouy, G., "On a Constant Temperature Oven," *J. Physique*, 6, Series 3, 1897, pp. 479-483.