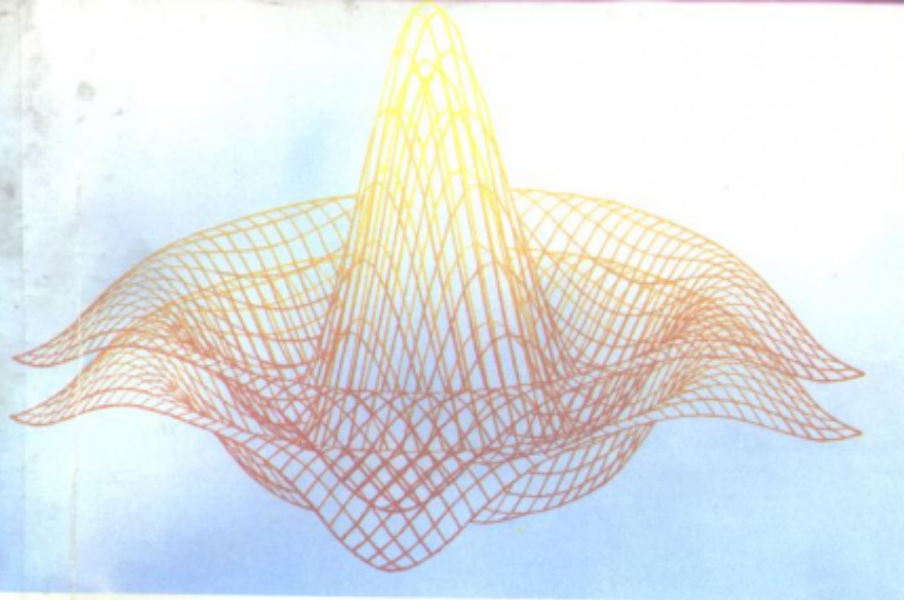




控制系统 CAD及MATLAB语言

● 陈怀琛 黄道君 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

URL: <http://www.phei.co.cn>



控制系统 CAD 及 MATLAB 语言

陈怀琛 黄道君 编著



电子工业出版社

内 容 提 要

JS/55/07

本书主要介绍如何用计算机辅助工程技术人员解决复杂的控制系统设计中遇到的问题。从最基本的浮点数算法讲起,进而讨论矩阵算法,再将这些算法用于控制系统的模型变换、结构图变换及线性定常控制系统(包括连续系统和采样系统)的时域、频域和模域的解析求解,以及当系统中具有非线性或变系数环节时,或者当它受到有随机信号的扰动及随机事件的输入时,采用的计算机仿真技术。本书对仿真的基本原理和方法也作了介绍。

本书以国际上最流行的 MATLAB 科学计算语言作为工具,在附录中详细地介绍了 MATLAB 语言的规则。

本书简明扼要、实用性强,可用作信息和控制专业大学本科教材,也可作为在职的工程技术人员自学之用。



控制系统 CAD 及 MATLAB 语言

陈怀琛 黄道君 编著

责任编辑:张 琛

电子工业出版社出版(北京市万寿路)
电子工业出版社发行 各地新华书店经销
中国农业出版社印刷厂印刷

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:16 字数:338 千字
1996 年 12 月第 1 版 1996 年 12 月第 1 次印刷
印数:3000 册 定价:28.00 元
ISBN 7-5053-3878-1/TP·1667

序 言

计算机辅助设计(CAD)已被广泛应用于工程领域,并向着全程自动化、工具集成化、操作智能化、执行并行化和成果规范化的高级目标发展。大学教育是为了培养未来工程师,应该使学生较早地适应这种形势,首先应当学会用计算机来进行各种科学计算,不仅要学会几种较好的工具,而且对这些工具的构成方法和原理有所了解。目前这方面的书籍和教材比较缺乏,本书就想填补这个缺口,提供一本既能用于大学教学,又可适于工程师继续教育的控制系统计算机辅助设计方面的用书。

本书第一至第五章及附录由陈怀琛编写,第六至第八章由黄道君编写。林华用计算机绘制了插图,并对初稿的排版、校正做了大量的工作。全书由陈怀琛负责统一审校。由于时间紧迫和水平所限,难免有疏漏和不足,我们热忱欢迎读者提出宝贵意见。

编者

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 计算机辅助控制系统设计的发展	(1)
1.2 控制系统 CAD 的主要内容	(2)
1.3 关于本书的指导思想和结构	(5)
1.4 关于 MATLAB 软件包	(7)
第 2 章 控制系统设计算法基础	(9)
2.1 算法的基本概念	(9)
2.2 浮点数运算.....	(10)
2.3 矩阵算法基础.....	(14)
2.4 线性方程组的数值解法.....	(18)
2.5 矩阵奇异程度的判别.....	(20)
2.6 矩阵特征根的解法.....	(23)
2.7 数值积分算法.....	(27)
2.8 快速付里叶变换算法.....	(38)
第 3 章 线性系统解析求解的算法	(45)
3.1 线性模型的表述及其相互变换.....	(45)
3.2 模型的组合.....	(52)
3.3 时域性能分析设计的算法.....	(61)
3.4 频域性能分析设计的算法.....	(67)
3.5 模域分析的算法.....	(69)
3.6 离散时间系统(采样系统)的类比.....	(70)
3.7 简单系统示例.....	(73)
第 4 章 线性连续与采样系统的变换算法	(79)
4.1 采样保持器的传递特性.....	(79)
4.2 连续系统状态方程的离散化.....	(84)
4.3 图士丁(Tustin)替换法	(88)
4.4 根匹配法.....	(91)
4.5 综合设计示例.....	(93)
第 5 章 任意连续系统的仿真	(98)
5.1 引言.....	(98)

5.2	面向微分方程的系统仿真	(98)
5.3	面向结构框图的系统仿真	(103)
5.4	MATLAB 中的系统仿真工具箱 SIMULINK	(110)
第 6 章	随机系统的仿真基础	(117)
6.1	引言	(117)
6.2	随机变量及其基本特性	(117)
6.3	随机过程及其基本特性	(124)
6.4	随机数的计算机仿真	(128)
6.5	非均匀分布随机变量的产生原理	(131)
6.6	MATLAB 中各种分布的随机变量的产生	(136)
第 7 章	随机连续系统仿真	(139)
7.1	随机连续系统的模型	(139)
7.2	随机连续噪声数字特征量的计算	(140)
7.3	随机噪声通过线性系统	(146)
7.4	线性平方估计器的解	(148)
7.5	线性平方调节器问题	(150)
第 8 章	离散事件系统仿真入门	(152)
8.1	基本概念	(152)
8.2	仿真钟推进方法	(154)
8.3	排队系统仿真	(156)
8.4	库存系统的仿真	(163)
8.5	离散事件系统仿真建模方法的进一步讨论	(166)
8.6	离散事件系统仿真语言	(172)
8.7	仿真结果分析	(174)
第 9 章	MATLAB 语言基础	(175)
9.1	基本知识	(175)
9.2	矩阵运算	(181)
9.3	数组运算	(185)
9.4	向量和下标	(189)
9.5	其它基本函数	(192)
9.6	数据分析	(195)
9.7	矩阵函数	(199)
9.8	绘图函数	(205)
9.9	控制流程	(211)
9.10	M 文件	(214)

9.11 输入和输出数据.....	(219)
习题.....	(221)
附录 A MATLAB Ver. 386 内部函数和基本函数集全集	(234)
附录 B MATLAB 控制系统及信号处理工具箱中的函数集	(239)
参考文献.....	(246)

第 1 章 绪 论

1.1 计算机辅助控制系统设计的发展

计算机是人脑的延伸,在各领域的科学计算和工程设计中,更广泛、更充分并以更高的水平来应用计算机,已经成为当今时代科学技术发展的一个重要标志和动力。例如,在机械行业推广最基本的计算机辅助绘图,就可以把上百万个技术人员从制图桌前解放出来,成十倍地提高效率;在工程建设中采用计算机辅助设计(CAD),设计的周期大约可以缩短到十分之一;在集成电路和复杂的电子系统设计中,要保证成百万个元件相互联接,正确工作而且一次成功,不出一点差错,CAD已成为必不可少的手段。CAD现在已发展到一个新的阶段,它把设计自动化(Design Automation—DA)作为它的奋斗目标。离这个目标最接近的是电子设计自动化(简称EDA),其它领域也都向这方向努力。国家科委在1991年至1995年的第八个五年计划期间,在全国范围内建立了若干个培训中心,在各行业中培训了大批CAD技术骨干。在各大专院校中,普遍把CAD列为重要的教学内容。这些都将为我国的四化事业、注入有效的推动力。

控制系统通常是由机、电、光、化……等多个领域的装置和过程有机地联接而成的,系统庞大,数学关系复杂,实验困难,因此,人们很早就借助于计算机来辅助进行分析、设计和试验。计算机辅助试验也称为计算机仿真。狭义的理解,计算机辅助设计是用计算机把理论解(或解析解)的运算数字化,而计算机仿真则是用计算机模仿那些尚无解析解的系统方程。但实际上这两者之间的界线有时也很难严格划分,所以,从广义上讲,计算机辅助设计也包括仿真,本书就是从这个角度出发编写的。

自动控制学科诞生于本世纪四十年代。在五十年代,频域分析法得到迅速的发展,而时域分析相对处于停滞状态,其主要原因在于拉普拉斯变换把时域中的微分方程求解转换为频域中的代数运算。工程师可以靠手工计算和一些图表的帮助来进行控制系统的粗略设计。在这个时期,为了得到复杂系统在时域中的解,曾广泛采用了模拟计算机仿真的方法,模拟计算机的编程方便,运算并行,模块形象等优点,使它在控制系统计算机辅助设计(Computer Aided Control Systems Design——CACSD)历史上占有重的地位:首先是启蒙作用;而后是实时仿真的主干地位;以后又发展成为兼有数字机和模拟机特色的混合仿真机……;但由于数字计算发展实在太快,而其价格也下降得实在太太,模拟机在精度、柔性和价格方面的劣势终于无法与数字机抗衡,因而在尽了三四十多年的历史作用后,九十年代以来,它已从市场上消失。从六十年代起,数字计算机被广泛地用于辅助设计。开始,它主要用于控制系统中单个问题的数值计算。采用的是批处理方式,即将所要解决的问题和原始数据都编成程序,一次性地送入计算机,并一次性地获得以数字清单方式输出的计算结果。这种方法当然

比手工计算快了成百倍,但它也存在着一些缺点:一是编程调试比较麻烦;二是运算过程中人不能对运算过程进行干预,不能及时把人的智慧与机器的速度有机地结合;三是输出结果不形象,分析结果比较费时费力。

三十多年来,数字计算机硬、软件的飞速发展已经解决了这些缺点。首先,它已从昂贵的大型计算中心变成了每个工程师手边的廉价工具;其次,它的计算方法已形成了软件包,可以综合解决与控制系统有关的各方面的问题,多数情况下,都可以调用现成的程序模块来解决问题,大大简化了程序的编写和调试;第三是它具备了十分友好而形象的人机交互功能,并且引进了不少智能化和可视化的方法,随时帮助人们了解程序运行的状况和问题,以便及时作出修改或干预;最后,它的输出兼有数字和图形,甚至是立体图形和动画(今后还会用多媒体技术),使人们一目了然。本书所讨论的控制系统计算机辅助设计是以这样的水平为标准的。因此就不可避免地与某种特定的软件包相联系,并且以它为典型。我们所选择的是美国 Mathwork 公司开发的 MATLAB 软件。

选用这个软件主要是因为它在国际上的科研和教学中的普及性。根据一项调查报告^[9],美国的大学本科和研究生的自动控制教学中,85%以上都利用了通用软件包;按使用频度排列,依次为 MATLAB, MATRIX-X, ACSL, CC……。另外根据 1995 年的 IEEE 控制系统 CAD 专辑中所登的九篇论文,有七篇用到了 MATLAB。再就是因为作者们有使用这个软件包的条件。为了使我国的大学教育和科学研究与国际接轨,我们决定把它引入我国的自动控制教材中来。

CACSD 还在迅速地发展中,从上述 95 年出版的“CACSD 专辑”中可以看到,它今后发展的主要方向:一是跨领域与其它软件包集成,例如与机械建模的软件包衔接,与人工智能的决策软件包集成等等;二是把不断出现的最新理论成果充实进软件包,例如 MATLAB 中现在已经增加了神经网络和模糊集合工具箱;三是与实时测量和控制相结合,有的公司已生产了能与 MATLAB 接口的数字信号处理(DSP)模块,它上可接受 MATLAB 的程序,并把它编译成执行速度很快的 DSP 指令,下可以与实际控制系统的输入和输出信号相接口,完成实时反馈控制的功能。同时将结果送回 MATLAB 的环境,以便于进一步的分析。

离散事件控制系统在近十年来得到了很大的重视和发展,像生产管理、通信交换、交通控制等大型系统中愈来愈多地需要用科学的方法进行定量的研究,而它带来的效益又是十分巨大的。控制工程师不可回避地应该面对这类问题,因此在学校内有必要掌握一些基本的概念。鉴于这类系统目前多数还没有理论解,通常要依靠计算机仿真来解决。因此本书中也用了一些篇幅来介绍这类系统的特点和仿真方法。

1.2 控制系统 CAD 的主要内容

控制系统的开发流程大体可用图 1.2.1 来表示。在其各个阶段,都需要用到计算机的帮助。如果不考虑计算机辅助制造(CAM),那么,计算机辅助对于设计人员所必须从事的分

析、设计、测试和建模中都是很重要的。

由于系统建模的理论一般是研究生课程,不列入大学本科教学计划。本书中不展开讨论,只在这里作一些简单介绍。

1.2.1 计算机辅助建模

设计一个控制系统的第一步,就要建立受控对象的数学模型。模型的准确与否会直接影响到所设计的控制系统的质量。因此,这是整个设计的基础。

建立被控对象的数学模型主要有两种方法:一是根据物理定律来推导,适用于系统比较简单,物理过程相当清楚的场合,因此也可称为白盒法;另一种是黑盒法,它不管系统的物理结构,把对象当作一个黑盒,对它加上激励信号,测量它的输出,对输入输出信号进行分析计算来求出系统的模型,这种方法称为系统辨识,它已成为控制系统中的一个专门的学科分支。

大学本科中所接触到的控制对象,通常都可以根据物理定律来建模,例如电机、液位、温箱的控制等。它们运动方程都比较简单。但即使是这些简单的对象,也只能用物理定律确定它们的传递函数的基本结构形式和阶次,我们不会去用理论推导出电机的时常数,因为那要涉及电机构造、磁性材料和电磁定律中许多深入的问题,要靠电机专家来解决的。控制工程师从应用的角度也只需要知道作为综合效果的时常数这个外部参数,因此,也要靠测试来解决。计算机辅助测试在这方面也兼有建模的作用。

用系统辨识的方法建立被控对象模型。是控制理论中十分活跃的一个领域。根据所加试验信号及所用分析方法的不同,系统辨识的方法也有很多种。比如,采用的激励信号有正弦信号、随机信号、二位式伪随机码、扫频信号等等;采用的算法有相关分析法、频谱分析法等,参数的拟合采用最小二乘法或最大似然法等。系统辨识的算法相当繁杂,不借助于计算机几乎很难完成。在 MATLAB 中就设有两个系统辨识工具箱。一个是时域辨识工具箱,其名称为 sys-iden(或 ident);另一个是频域辨识工具箱,其名称为 fdident。读者将来遇到需要用辨识方法建模时,可以应用这些工具箱。因为系统辨识用到的数学比较深入,超过了本科的数学基础,因此本书也不予讨论。

1.2.2 数学模型表述方式的转换

根据物理规律或系统辨识所建立的系统模型,可能有各种不同的表述方式,下面给出了一些主要的数学模型表述方式:

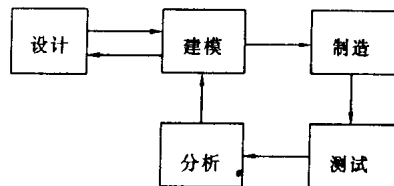
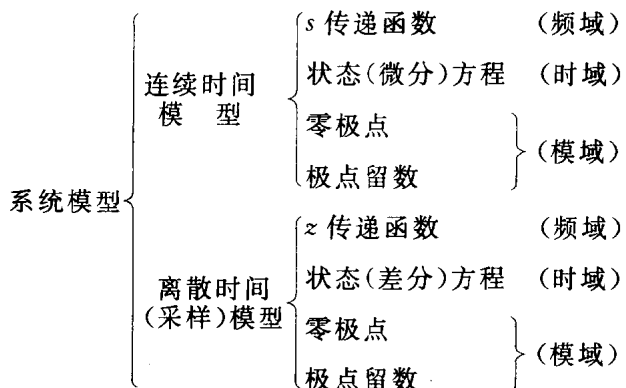


图 1.2.1 控制系统开发流程



采用不同的分析设计方法,就要求不同的系统模型的表述方式。因此经常有必要在各种表述方式之间对模型进行转换。这种转换所用到的数学运算通常都相当麻烦,计算机的辅助是十分必要的。

1.2.3 计算机辅助分析和设计控制系统

计算机的帮助为控制系统的分析和设计开辟了广阔的天地。它使得原来被认为难以应用的设计方法成为可能。根据所使用的数学工具的不同,控制系统的分析和设计方法可以分为如下的两大类:变换法(频域法)和状态空间法(时域法)。下面将分别予以介绍。

(1)变换法(频域法)

在用这种方法分析和设计控制系统时,要求系统的数学模型用传递函数表示。从传递函数出发,利用代数的方法(如 Routh 判据)判断系统的稳定性;并可画出系统的波特图、奈魁斯特图以及根轨迹图来进一步分析系统的稳定性以及系统其它性能。也可在此基础上,根据对系统品质指标的要求,选定一种校正装置的结构形式,利用参数寻优的方法定出校正装置的参数。

(2)状态空间法(时域法)

随着现代控制理论不断发展以及计算机应用的日益普及,这两者的结合使得基于状态空间的控制系统设计方法,在实践中得到了越来越广泛的应用。这个方法的一个突出优点是它能够适用于多变量控制系统的设计。

利用状态空间设计控制系统的方法主要有两种。一种是最优设计方法,它包括最优控制规律的设计及状态的最优估计两个方面,通常称这样的最优设计问题为 LQG (Lineat Quadratic Gaussian)问题。在这个方法中,最主要的设计工作是线性二次型最优控制规律以及卡尔曼(Kalman)滤波器的计算。这些计算是难以用手工进行的。另一种利用状态空间设计控制系统的方法是基于对闭环系统的极点配置,即给定的性能指标是闭环系统的极点分布。并由此设计出所需的控制器。控制器由两部分组成,一部分是状态观测器,另一部分是线性状态反馈规律。因为只有全部状态的线性反馈才能获得极点的任意配置,状态观测器的作用就在于根据测量到的输出量重构出全部状态。因此,这种设计方法包括了按极点配置

设计线性状态反馈控制规律和设计观测器两个方面。而这两方面的计算都需要计算机的帮助。

在用状态空间法控制系统进行分析方面,主要包括有稳定性、能控性及能观性的判断、能控及能观子系统的分解、性能指标函数的计算以及灵敏度分析等方面。这些方面的计算也都需要有相应的计算机程序。

1.2.4 控制系统的计算机仿真

在前面第一部分所讨论的建立模型阶段,需要对所建立的模型进行仿真研究,以验证模型的正确性。那里主要是对受控对象即开环系统进行仿真。在经历了第三部分所讨论的系统设计阶段后,同样需要对所设计的系统进行仿真研究,以校核系统的性能是否满足要求。因而这里是对整个闭环进行仿真研究。

根据所用方法的不同,控制系统的计算机仿真可分为面向整个控制系统方程和面向控制系统各个环节两类情况。所谓面向系统是指给定的模型是整个闭环系统的传递函数(或高阶微分方程)或状态方程,然后基于这个系统模型,利用计算机对其进行仿真。所谓面向环节是指给定的模型是闭环系统的结构图及每个环节的数学模型(传递函数或状态方程),然后针对每个环节及它们之间的相互联系,利用计算对它们进行仿真。

根据系统模型表示方式的不同,仿真所采用的计算方法也随之而异。当模型采用传递函数或高阶微分方程的形式表示时,系统的仿真计算则建立在微分方程的数值求解上。当系统的模型采用状态方程表示时,则仿真建立在矩阵指数的数值计算上。

计算机仿真的真正价值并不在于对有严整理论解的命题作出数值计算。它的主要作用是能对无法得出解析解的系统求出数值解。这就把人们对控制系统的研究范围扩大了好多倍。我们知道,现在只有线性定常系统可以用严格的数学公式求解。大量的控制系统都满足不了这一点,有的是内部包含非线性环节;有的系统参数是时变的;有的受到着离散随机事件的影响,有些受到非平稳随机信号的干扰;有的人为地构成了人工智能的控制器……,这些情况,都超出了理论求解的可能性。这时计算机仿真都可作为有效的不可替代的研究工具。另外,仿真技术并不限于状态变量的数值计算,它可以用来模仿各种系统和设备及其运行状态,也可以用来模仿操作人员的工作环境和面对的人机界面,其中包括视觉、听觉、触觉和动觉等各种感官效应……。在这个意义上,仿真技术已远远超出计算机辅助设计的学科领域,它已成为一门独立的高新技术。不过在本书中,我们还是从狭义上来介绍计算机仿真,那就是用计算机来对各种动态系统的运行状态进行实验(即数值计算)并作出评价和参数选择。

1.3 关于本书的指导思想和结构

人类的知识正以指数幂式的规律在迅速增长之中。作为知识传授者的学校和教师,面临

着困难的抉择:如果要把过去所教的知识全部当作“基础”,予以保留或加强,那么,将没有时间传授新的知识;这时学校的主要手段就是增加教学时数,或者把大学四年延长为五年;另一种办法,就是要对过去所教的知识,进行一番分析研究,区别出其中的概念部分和技巧部分,前者是一个科学工作者必须掌握的,靠它来进行创造性的思考和推理;后者则是一些技巧,它们过去必须由科学工作者自己动手,但现在则可以交给计算机或其它工具去完成。在教学内容中保留前者而精简后者,就可以挤出一部分时间,给学生传授新的知识,特别是创新的思维方法。作者赞同的是后一种做法。

对知识的这种分析和分解是完全可能的。比较明显的例子是工程制图:用三维投影来表达一个实物是一个重要的概念,工程师必须能用平面图形来对空间物体进行思考和描述,而用丁字尺、三角板和仪器来绘成一张正式工程图则是一种技巧,过去要工程师自己做而现在已经可交给计算机去绘图了。即使是这样的例子,仍然会有争议:有人认为必须多画图,才能建立和巩固概念,两者是不可分的;学计算机绘图也需要时间……;也有人认为画草图就能巩固概念,为什么一定要用图板和丁字尺呢?用计算机绘图来代替手工绘图不正是精简出一部分原有教学时间来学习新知识吗?当然,后面就会提出学校的设备条件问题,经济条件问题……。不过争论到了这里,答案应该是明确的了,难道四年制改为五年制,国家的额外投资会少吗?教师和学生多化的这一年劳动值多少钱,谁能算得出来?!

现在来看一下自动控制理论,它是一门理论体系严密,用到很多很深的数学工具的学科,并且其内容不断得到新的充实。例如本科生的教材,光是经典控制的教材,就从一百多页发展到 400~500 页,加上现代控制理论部分,快到 1000 页了,其中有没有技巧性的内容可以精简?有没有一些工作可以交给计算机去做,从而达到人与机合理分工而实现“全局优化”的可能呢?“人机工程”和“系统优化”都是控制理论研究的领域,我们应该比较容易接受这种思路。

在本书中所着重讨论的问题一般就是我们认为可以靠计算机解决的,因而也是在自动控制理论中可以大为精简的内容。特别是象根轨迹,复杂系统频率特性的绘制,状态空间方程类型的转换之类,节省下叫初学者晕头转向的运算和绘图时间,让他们站得更高。以清醒的概念指挥计算机一步一步来替自己完成任务。这才是培养科学战线上的“将才”之道,我们相信这既可精简内容,又提高了教学质量。

但是,教学的改革是一个很复杂的系统工程。我们编写本书的前提是在自动控制理论课后单独开设的一门控制系统 CAD 课程。两门课的分设实际上不利于课时的精简,在这个意义上,我希望并期待着本课程逐渐并入控制理论课中去。又比如 MATLAB 语言,并它不是专为控制理论用的,在大学一年级开设线性代数课程时,就应该学会使用这种软件工具了。把它放在本书中占那么大的篇幅,也实属不得已而为之。因此,我们觉得,这本书是用来填补一个历史时期内的需要的。这个时期的长短将取决于课程内容改革的过程。在一定程度上,

这本书的出现也许正是为了这门课程的消亡。当然,对于大量的已经参加工作的控制工程师,过去没有接触过计算机辅助设计的训练,这本书还会有相当的参考价值。

由于以上的指导思想,本书按照少而精、便于自学的原则进行选材。在所有的 CAD 培训中,都有一个问题要回答,即培训的对象是 CAD 的开发者还是使用者?如果是开发者,那就要着重于 CAD 算法的研究;如果是使用者,则着重于学会使用现成的软件包来解决问题,他们也要了解一点算法,这仅仅是为了更好的使用。我们是按后一种目标来编写本书的。

因此,在本书的内容安排中,我们完全删掉了模拟计算机。也删去了过去 CAD 和仿真教材中占篇幅很大的 FORTRAN 或 BASIC 的仿真程序,在本书第 2 章中介绍了算法,特别是矩阵算法的基本概念,作为以后各章的基础。第 3 章讨论控制系统分析设计中的一些主要算法,以及怎样利用第 2 章的基本算法来实现。第 4 章讨论连续系统和离散时间系统的相互转换,这是用数字控制器控制连续的物理对象时必须解决的算法,也是系统仿真时常常用到的。第 5 章讨论包括非线性、变系数环节的复杂控制系统的计算机仿真问题。这些问题是没有理论解析解的,仿真就相当于在计算机上作实验。第 6 章介绍随机变量和随机过程的计算机仿真基础。第 7 章介绍具有随机干扰的连续系统仿真技术。第 8 章介绍离散事件系统的仿真技术。学生在以往并未接触过这类系统。只是因为科学和经济的发展中,这类系统日益重要,而且解决这些问题的主要手段是仿真技术。因此为了扩大学生的知识面,也为了对仿真技术有较为完整的概念。我们选入了这一部分内容,作扼要的介绍。

本书的全部内容是按 36 学时的实施计划安排的。正如前面指出的,学生的基础不同,上机实习的条件不同,都会影响到本课所需的学时数。我们重申,能用尽量短的时间、教会读者掌握控制系统的 CAD,将是本书成功的标志。我们欢迎读者的建设性的批评和建议。

1.4 关于 MTALAB 软件包

MATLAB 是一种科学计算软件,主要适用于矩阵运算及控制和信息处理领域的分析设计,它使用方便,输入简捷,运算高效,内容丰富,并且很容易由用户自行扩展,因此。当前已成为美国和其他发达国家的大学教学和科学研究中最常用而必不可少的工具。

MATLAB 是由美国 Mathwork 公司于 1986 年推出的,到 1988 年推出了 3.x 版本,1994 年底已有了 4.2c 版本。随着版本的升级,内容不断扩充,人机界面更加生动易学,并且有适用于各种工作站和微机的版本出现,当然这些软件都是有版权的,不能随意拷贝。另一方面版本的升级对使用环境也提出了更高的要求。

MATLAB 是 Matrix laboratoy 的缩写,它是一种进行科学和工程计算的交互式程序语言,与其它计算机语言相比,其特点是灵活性和智能化。适应科技专业人员的思维方式,使得编程效率大大提高。例如,它的基本变量是矩阵,基本数据单元是复数,而进行赋值和运算时却无需指定矩阵的维数,程序会自动对维数进行判别和分配;又如在进行时域和频域仿真和结果显示时,一般也无需给出时间和频率取样点及坐标比例尺,MATLAB 会自动选择工程

人员最关心的曲线区间,以最适当的比例尺充分显示出它的形状等。这些功能使得用 MATLAB 进行仿真和设计的效率比一般算法语言高得多。

MATLAB 的学习也十分方便,通过它的演示(demo)和求助(help)命令,人们可以方便地在线掌握各种函数的用法及其内涵。因此,一旦进行了很简单的入门训练之后,人们就可以离开说明书而在计算机上自学。

据我们所知,本书是国内第一本用 MATLAB 语言来编写控制系统 CAD 程序的正式出版物。许多读者在阅读本书之前没有接触过这种语言。目前也很难买到介绍 MATLAB 的参考书,因此在本书中,我们介绍了 MATLAB 的基本语法规则。在实施控制系统 CAD 课程时,可以穿插安排学习一些 MATLAB 的基础语法,MATLAB 是一种很易学的语言,有其它算法语言基础的读者一看就会,根据我们的实践经验,在教学计划中只要安排两到四个学时讲授和四小时的上机就可以掌握要领,以后是在实践中深化和熟练的问题。

MATLAB 的版本在不断的更新。它的 2.0 版本,就包含了本书所介绍的基本语法规则,只是没有“help”功能,所以必须有教科书或手册在手边才好应用。对于教学,这个版本也基本够用了,所以也称为学生版。它要求的资源是 8086 加协处理器 8087 的运算环境。

它的 3.x 版本也称为 386 版本,它具备了在线的“help”功能,并且扩充了控制、信号处理、样条函数和时域辨识等工具箱,其名称分别为 Control,Signal,Spline 和 Sys-iden。因此,足以解决控制系统及信号处理 CAD 中重要的经典问题。3.x 版本的图形功能和与其它语言接口的功能也都有了加强。它要求的资源是 80386+80387 的运算硬件和 DOS 操作系统,至少 1MB 的内存及 6MB 的外存,软件本身容量为 3MB 多,用三张高密软件盘作为载体。

MATLAB 4.x 版本工作于 Windows 环境之下,它主要的性能扩展是开发了 Simulink 仿真工具箱,它的特点是可以利用图形界面,用框图来编程和仿真。另外,在功能上它又扩展了十几个工具箱,例如频域辨识(fdident)、神经网络(Nnet)、模糊控制(Fuzzy)、图象处理(Image)、公式推导(Symbolic)、统计(Stats)……。它对运行环境的要求是 8MB 以上的内存和 30MB 以上的外存,时钟频率虽然没有硬性要求,但若用 33MHz 的时钟,运行进程相当慢,令人不耐烦。

本书介绍的内容并不限于哪个版本,就其基本语法部分而言,在 2.0 版本上就可实现。控制系统的分析设计部分,要用到版本 3.x 中的工具箱,而仿真那一章的有关部分,必须在 4.x 版本中才能实现。

第2章 控制系统设计算法基础

本章先介绍计算机算法的基础,然后根据控制系统分析设计的需要,着重介绍了矩阵算法的一些专门知识,其中主要包括了矩阵的四则运算、线性方程组的求解、特征方程的根的求法以及矩阵奇异性的判别等,其后介绍了数值积分的算法及付立叶变换算法。这些内容是控制系统分析中经常用到的基本算法。在 MATLAB 中,它们都属于内部函数,编成基本运行环境的一部分,即它们是由二进制目的码组成,执行速度比较快,但人们却无法看到它的源程序。介绍这些算法基础将能帮助我们深入理解在其上建立的各种高层次的算法。

2.1 算法的基本概念

把以数字公式表达的命题,用计算机可执行的加减、乘除及逻辑运算,按预定精度求出它的解,这种方法就称为计算方法,或简称算法。

如果我们把物理过程转变为数学模型称为一次建模的话,则把数学模型转变为计算框图或程序(或称计算模型)称为二次建模。

算法要研究以下两方面的内容。

(1)把希望得到的计算结果(解)与原始给定的模型条件之间的关系,化为用基本的算术运算与逻辑运算来表述。

(2)研究在计算机上实现这些算法时的指标,如精度、速度、稳定性、通用性等。根据这些指标对算法进行比较、改进和优化。

由此可见,要把计算机有效地用于解决科学和工程的问题,算法是一个必不可少的桥梁。计算机已经有了五十年以上的历史,许多优秀的算法已变为标准的程序,因此,我们就不一定要把任何数学问题都化为最基本的加减乘除和逻辑运算,如果矩阵的加减乘除,复数的加减乘除的标准程序搞得很可靠,则只要把数学模型变换为这些运算,也就完成了算法研究。

随着计算机硬件能力的迅猛提高和软件的高速发展,科技人员已不满足于单项的算法,而是要求得到用计算机求解复杂理论问题的综合方法。这就是大型的软件工具,它把各种各样的算法综合成为应用软件包。使用者可以很方便地调用其中各种功能的函数或子程序而直接获得解答,不必深究其运算的细节,有的文献上把这种综合求解的软件程序,也作为算法的一个内容。

在本书中我们所说的算法,还是指本节开始时提出的概念,计算机辅助设计的软件包是以这些算法为基础的。虽然绝大部分读者不会去编写这些算法程序,而只是调用它,但软件包常常会对不妥当的调用提出警告,有的提示就是从算法角度提出的,所以要能用计算机进行辅助设计,必须对基本的算法规则有一定的了解。

2.2 浮点数运算

2.2.1 计算机中浮点数的表示法

在数学计算机上,一组浮点数的集合 F 可用以下的四个参数表示。

- (1) 基数 β ($\beta=2, 10, 16$ 分别为二进制、十进制、十六进制等)
- (2) 有效位数 t (表示精度)
- (3) 指数 e 的下界 L
- (4) 指数 e 的上界 U

任何一个浮点数 $fl(x) \in F$ 可表示为:

$$fl(x) = \pm \left(\frac{d_1}{\beta} + \frac{d_2}{\beta^2} + \dots + \frac{d_t}{\beta^t} \right) \beta^e \quad (2.2.1)$$

其中,整数 d_i 满足:

$$0 < d_1 \leq \beta - 1$$

$$0 \leq d_i \leq \beta - 1, \quad i = 2, 3, \dots, t$$

e 满足:

$$L \leq e \leq U$$

为了清楚地看出这些数的分布,设 $\beta=2, t=3, L=-1, U=2$, 共可得 32 个数。正负各 16 个数,其绝对值为 $1/4, 5/16, 3/8, 7/16, 1/2, 5/8, 3/4, 7/8, 1, 5/4, 3/2, 7/4, 2, 5/2, 3, 7/2$, 等,在正实数轴上的位置见图 2.2.1, 可见浮点数集 F 在实轴上是离散且不等距地取值的。

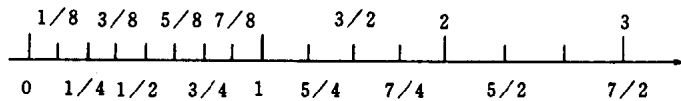


图 2.2.1 浮点数在实轴上的分布

规定 d_1 不得等于零,就限定了最小数为:

$$|fl(x)|_{\min} = \beta^{L-1}$$

在本例中, $e=1/4$ 。这个规定,目的在于保证浮点数的有效位数,即保证其相对误差:

$$\epsilon = \left| \frac{|fl(x)| - |x|}{|x|} \right| \leq \beta^{1-t} \text{ (只舍不入时)} \quad (2.2.2)$$

$$\leq \frac{1}{2} \beta^{1-t} \text{ (中点为界,有舍有入)} \quad (2.2.3)$$

在本例中, $\epsilon \leq 1/4$, 即用此浮点数表示的实数最多比它大四分之一。如果没有这个限制,则 $|fl(x)|$ 的最小值可为 $1/16$, 它的最邻接的数为 $1/8$, 用 $1/16$ 来近似表示 $(1/16 \sim 1/8)$ 区间的任一实数,其相对误差最大可达 100%, 用这样的数作为基础,运算结果会失去任何可信度,因此存在着两种最小数: