

控制系统的 计算机 辅助设计 (C A D C S)

● 王子平 编著

72

● 北京理工大学出版社

控制系统的计算机辅助设计

(CADCS)

王子平 编著

北京理工大学出版社

内 容 简 介

控制系统计算机辅助设计(CADCS)是近年来发展起来的一门综合性新技术,是计算机辅助设计(CAD)的一个重要分支。全书共分十章:绪论;控制系统的设计与开发;最优控制系统的数值解;控制系统的可靠性;CADCS 软件系统的开发;CADCS 软件系统的测试;CADCS 系统的人、机信息交互;CADCS 与专家系统;CADSPS—随动系统计算机辅助设计软件包;CTCAI—控制系统计算机辅助教学软件包。书末附有 CADSPS 软件包的若干功能子程序,供读者了解和选用。

本书可作为自动控制专业研究生、高年级本科生的教材,也可作为有关专业的技术人员及教师的参考书。

控制系统的计算机辅助设计 (CADCS)

王子平 编著

*

北京理工大学出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京理工大学出版社印刷厂印刷

*

787×1092 毫米 16 开本 16.25 印张 404 千字

1990 年 5 月第一版 1990 年 5 月第一次印刷

ISBN 7—81013—315—2/TP·22

印数:1—1,000 册 定价:3.60 元

序 言

控制系统计算机辅助设计(CADCS)是计算机辅助设计(CAD)技术的一个重要分支,是近20多年来新发展起来的一门综合性新技术,其重大意义和作用已日益为人们所认识。

本书主要是为自动控制专业研究生编写的一本教材,也可作为有关技术人员的参考书。

全书共十章,内容可归纳为以下几个组成部分:

一、绪论(即第一章)。扼要地介绍有关 CADCS 技术的定义、意义和作用,当前发展情况以及主要发展动向等。是后面各章的基础。

二、关于控制系统的设计和开发(即第二、三、四章)。这部分内容是控制系统计算机辅助设计技术的基础和前提。作者之所以安排这部分内容,主要目的还在于提醒某些读者注意,如对控制系统设计、开发的全过程,缺乏应有的理解,这不仅会直接影响对控制系统设计与开发技术的全面掌握,而且也会严重影响对 CADCS 技术的全面理解、运用和发展。据我们所知,有些自控专业的学生和技术人员,由于受某些教科书影响,对控制系统设计和开发的全过程模糊不清,甚至尚把系统综合和系统设计混为一谈。

当然,这三章内容还远不能概括控制系统设计、开发技术的全貌。作者只不过想通过这三章,对自动控制专业的大学生、研究生的当前课程设置中,所缺少而又比较重要的部分内容,略作些补充而已。由于篇幅所限,对于读者已熟悉的控制理论、系统分析与综合、仿真等方面的知识及有关算法、流程图等均予以删减。读者对这方面的内容,可参阅自动控制专业方面的书籍和有关文献。^[60,61,62]

三、关于 CADCS 软件系统的设计和开发(即第五、六章)。因为要开发一个高质量、具有一定规模的 CADCS 软件系统(语句少者几千行,多者数万行或更多),如果开发者缺少软件工程的思想和方法,将难于胜任开发任务。

四、关于人、机信息交互问题(即第七章)。在 CADCS 技术中,对人、机信息交互技术的研究,是一个十分重要的课题。特别是其中涉及到人的因素,所以也是一个难度较大的问题。目前自控界已普遍认识到,人、机信息交互式的 CADCS 系统是 CADCS 技术的主要发展方向。一个 CADCS 系统开发得成功与否,在很大程度上是与该系统的人、机信息交互水平有关。因为无论系统的功能如何完善,如果人、机间信息交互困难,用户不乐于使用,就会直接影响该系统作用的发挥和生命力。

五、关于专家系统的基本介绍(即第八章)。因为专家系统的引入,将会进一步改善系统开发的环境,将会使计算机在系统的开发过程中,不再只是一个被动的计算工具,而且还可以发挥积极的“专家、顾问”作用。特别是在系统开发的概念设计阶段及初始设计阶段,在很大程度上需要依靠专家的经验判断,这时专家系统就会在经验知识上为用户提供更多的支持。因此专家系统的引入,对推动 CADCS 技术的进一步发展,无疑是有巨大意义的。

六、关于两个 CADCS 软件包的介绍(即第九、十章)。目的在于使读者建立关于软件包的具

体概念,同时对理解前面诸章节的内容也是有益的。

在书末附录中,介绍了一个关于参数适应控制系统 CAD 研究的方案,目的在于使读者了解 CADCS 技术对于发展和研究新的控制理论和控制系统是一种很有效的途径和手段。此外还附有近年来我们所开发的部分程序摘录,供读者参考。

目前国内外已出版的有关 CADCS 的教材尚不多,特别是象本书内容所用的编写方式更属少见,再加上作者的知识水平有限,书中难免有谬误和不妥之处,尚希广大读者惠予指正。

此外,作者对清华大学郑维敏教授在百忙中对书稿的审阅表示衷心感谢;对我们 CAD 研究室全体同志及我的一些学生,在本书的编写过程中所给予的关怀和支持表示衷心感谢;对出版社同志们热情帮助表示衷心感谢。

作者 1989. 6

目 录

第一章 绪 论

§ 1.1 控制论和计算机	1
§ 1.2 何谓控制系统计算机辅助设计(CADCS)	2
§ 1.3 CADCS 技术的发展概况	3
§ 1.4 CADCS 技术的意义和作用	3
§ 1.5 CADCS 技术的当前发展动态	4
§ 1.6 小结	7
习题	7

第二章 控制系统的设计和开发

§ 2.1 前言	8
§ 2.2 常规综合方法	8
§ 2.3 现代控制理论的综合方法	9
§ 2.4 控制系统的设计与开发	10
§ 2.5 小结	16
习题	18

第三章 最优控制系统设计的数值解

§ 3.1 前言	19
§ 3.2 数学规划问题	20
§ 3.3 数学规划与最优控制	22
§ 3.4 举例	26
§ 3.5 小结	30
习题	30

第四章 控制系统的可靠性

§ 4.1 前言	32
§ 4.2 可靠性定义	32
§ 4.3 可靠性指标	32
§ 4.4 系统可靠性的结构模型	36

§ 4.5 系统的可靠性设计	41
§ 4.6 软件的可靠性问题	43
§ 4.7 小结	44
习题	44

第五章 CADCS 软件系统的开发

§ 5.1 前言	45
§ 5.2 软件系统的结构化分析与设计	45
§ 5.3 软件系统的分析阶段	48
§ 5.4 软件系统的概念设计阶段	49
§ 5.5 软件系统的初步设计阶段	51
§ 5.6 软件系统的详细设计阶段	56
§ 5.7 软件系统的实现阶段	61
§ 5.8 小结	63
习题	63

第六章 CADCS 软件系统的测试与维护

§ 6.1 前言	(65)
§ 6.2 何谓软件测试	(65)
§ 6.3 测试方法	(66)
§ 6.4 测试计划的制定	(68)
§ 6.5 测试步骤	(70)
§ 6.6 测试举例	(71)
§ 6.7 软件的维护	(73)
§ 6.8 小结	(75)
习题	(75)

第七章 人、机界面

§ 7.1 前言	(76)
§ 7.2 人、机信息交互中常用的几种交互方式	(77)
§ 7.3 程序的运行控制	(78)
§ 7.4 数据库的控制	(78)
§ 7.5 防错	(79)
§ 7.6 在线帮助	(79)
§ 7.7 软件心理学	(80)
§ 7.8 小结	(81)
习题	(81)
本章附录 I 人、机信息交互流程图	(82)
本章附录 II 人、机信息交互过程(举例)	(87)

第八章 CADCS 专家系统

§ 8.1 前言	(100)
§ 8.2 专家系统的基本结构及其特点	(100)
§ 8.3 某些名词术语的介绍	(101)
§ 8.4 知识表示	(102)
§ 8.5 基于规则的表示方法	(103)
§ 8.6 如何建立规则集	(104)
§ 8.7 正向推理	(106)
§ 8.8 反向推理与混合推理	(108)
§ 8.9 不确切推理	(111)
§ 8.10 框架式表示及其推理	(115)
§ 8.11 专家系统的开发	(118)
§ 8.12 小结	(119)
习题	(119)
本章附录 专家系统与 CADCS 软件包相互配置的几种参考方案	(120)

第九章 CADSPS——高精度快速随动系统 CAD 软件包

§ 9.1 前言	(122)
§ 9.2 CADSPS 的功能结构	(122)
§ 9.3 CADSPS 的功能子包	(125)
§ 9.4 CADSPS 的数据库	(128)
§ 9.5 管理功能和人、机信息交互功能	(128)
§ 9.6 小结	(130)
本章附录 计算举例	(131)

第十章 CTCAI——控制理论 CAI 软件包介绍

§ 10.1 前言	(133)
§ 10.2 CTCAI 的总体结构	(133)
§ 10.3 人、机信息交互与数据管理子包	(133)
§ 10.4 数据库	(134)
§ 10.5 功能子包	(137)
§ 10.6 CTCAI 的课件	(137)
§ 10.7 测验模块	(138)
§ 10.8 CTCAI 的使用	(138)
§ 10.9 小结	(139)
本章附录 CTCAI 软件包的人、机交互与数据管理子包的数据流程图	(140)

附录 I 参数适应控制系统的 CAD 研究	(142)
-----------------------------	-------

附录Ⅱ	CADSPS 软件包部分程序摘录	(144)
参考文献		(244)
名词术语索引		(247)

第一章 绪 论

§ 1.1 控制论和计算机

我们知道,控制论(cybernetics)首先是由 N·维纳在 1949 年出版的《控制论》一书中提出的。原书的副标题是:在动物和机器中的控制和通讯。

控制论是研究各类控制系统(包括动物体内的自动调节作用和控制过程及机器中信息传递和控制过程)的信息传递和控制过程的共同规律的科学。用维纳本人的原话就是“研究关于动物和机器中,有关控制和通讯的科学”。

1954 年我国著名学者钱学森首先把这一理论用于具有控制功能的各种工程系统的分析和设计,并出版了《工程控制论》(engineering cybernetics)一书。显然,工程控制论就是研究各种工程控制系统中信息的传递与控制的共同规律和方法的一门技术科学。

随着 1945 年出现的第一台数字计算机及后来计算机科学、计算机技术突飞猛进的发展,随着数字计算机和控制系统在彼此发展中相互间所起的越来越重要的促进作用,这就使得“计算机+控制论”在近二十多年来,大大推进了当代各类科学技术的巨大发展。现在不仅有了工程控制论,而且又有了经济控制论、社会控制论、生物控制论、军事控制论,……等新的学科分支。同时也使得大系统理论、系统工程、人工智能、信息科学……等大批新学科、新分支得到了极大的发展。特别是近年来各种智能化机器装备、智能化仪表、智能化机器人、智能化控制等的出现,不仅大大促进了生产过程的自动化,也促进了各类信息系统的自动化。这种形势不仅促进了社会生产力的发展,对社会生产结构也正在起着深刻的影响。

我们说“计算机+控制论”推动了控制论的发展,并把控制论的基本理论和方法,从工程技术领域扩展应用到了各种非工程技术领域,这是有它一定内在原因的。粗略地分析一下即可看出:性质完全不同的过程(电的、机械的及其它各种物理过程以及经济发展过程、人口发展过程、社会现象等),如果用数学模型的方法加以描述,就可发现它们之间有许多本质上的相似之处。这就是说,同一类数学模型既可用于描述某种物理过程,又可用于描述某种社会现象或经济过程。这正是控制论之所以能发展产生工程控制论、进而发展产生经济控制论、社会控制论、……的内在根本原因。当然,正如前面提到的,这和计算机在控制论中所起的巨大作用是分不开的。这不仅是因为计算机的快速、高精度运算作用、巨大的存贮记忆作用,而且因为它还可以帮助我们处理系统中各种类型的信息,从而使得我们对控制理论的认识,对控制系统的分析方法、设计方法、设计过程以及设计环境,都起了极大的变化。控制系统计算机辅助设计(CADCS)技术的产生与发展,即是其中最明显的例证之一。

近二十多年来,控制系统的分析与设计出现了许多新的方法(如系统的辨识、建模、仿真以及参数的优化、设计等)。这些新方法的提出,一般均与计算机的应用有关。而且这些新方法大多又恰恰是通过 CADCS 技术,在工程实践中才得以推广和应用。

显然,CADCS 是一门技术,是一门在计算机工程、计算机科学、应用数学、系统工程、控制论以及控制工程等多门科学技术的基础上发展起来的一门综合性的新技术。目前它仍处于继续发展的阶段。对它影响最大的,当然还是“计算机+控制论”。

这门新技术的产生、发展的意义,将是深远和巨大的。目前,国内外真正把它作为一门综合性技术而进行介绍的教科书还不多。对它所涉及问题的广度和深度进行全面介绍,显然是相当困难的,甚至是不可能的。本书只是想从这方面作一些初步尝试,而且只是着重从几个重要侧面,对它作些介绍。

§ 1.2 何谓控制系统计算机辅助设计(CADCS)

在有关 CAD 及 CADCS 的书籍或文献中,至今人们对 CAD 的定义还不统一。经常看到一些不同的提法。这说明人们对这门新技术的认识还很不一致。

有人认为,凡是为了帮助人们进行(控制)系统设计,在系统设计的过程中对计算机的任何一种使用,均可叫做 CAD。

有人则明确指出,CAD 是一种技术(technique)利用这种技术可以把“人”(即用户)和“机”(即计算机)的各自特长密切地结合起来,形成一个进行系统设计的有机整体。

显然,上述第一种提法过于简单,笼统,不能充分体现 CAD 的性质和内涵。第二种提法较第一种提法要深刻得多,它明确指出了 CAD 是一门技术,并强调了要把人、机各自特长有机地结合起来,以利于进行系统设计。

根据第二种提法,结合控制系统设计的特点,我们认为对 CADCS 的下述提法似乎更全面一些:^[1]

CADCS 是一门综合性的先进技术。它是用来研究和解决,如何将适当的计算机硬件(包括必要的外围设备)、专门开发的应用软件以及使用这些软、硬件的“人”(即用户),按一定的性能要求恰当地组合起来,从而构成一个能充分发挥“人”、“机”各自特长,能有效地进行控制系统设计的有机整体,以便为用户提供一个高水平的、灵活方便的控制系统设计环境。

第三种提法的特点在于,它明确地指出了:

1. CADCS 是一门综合性的先进技术。
2. 所涉及的计算机硬件、应用软件及用户是按某种性能要求构成的一个有机整体(即系统)。
3. 在进行 CADCS 的系统设计时,应注意充分发挥“人”、“机”各自特长。
4. CADCS 系统的功能是:能有效地进行控制系统设计,并为用户提供一个高水平、方便灵活的控制系统设计环境。

此外还应当正确理解定义中的“控制系统设计”一词的含义:这里所谓的控制系统,不应仅仅理解为通常的工业过程控制系统或随动系统,还应该包括各种非工业技术领域的各类控制系统;此外,对“设计”一词的含义应从广义上来理解,不应只是理解为控制器的设计,应该是包括整个控制系统开发过程中的概念设计,初始设计以及详细设计等各个阶段。近年来,随着 CADCS 技术内容的逐渐扩展,不少人已把它称做计算机辅助控制系统工程(computer aided control system engineering, CACSE),其原因也就在这里。

§ 1.3 CADCS 技术的发展概况

CADCS 技术的发展,是在近二十年左右的时间里,伴随着当代一些新技术的发展,特别是控制技术、计算机技术、信息技术、人工智能以及系统工程等的发展而逐步发展起来。

在谈到 CADCS 的发展时,首先应提到数字仿真技术的作用。早期的 CADCS 软件包正是以数字仿真为基础而构成的。随着计算机存贮容量的增大,运算速度的提高,仿真语言的出现,以及快速打印机、X—Y 绘图仪等硬件设备的发展,技术人员不仅可以利用计算机对控制系统进行系统仿真,而且还逐渐发展出了可用于控制系统设计的软件包。

在 CADCS 的发展初期,大多采用现代控制理论的时域法进行系统的分析与设计,后来由于图象显示设备的发展及现代频域法的发展,采用频域法的 CADCS 软件包也逐渐大量出现。特别是对一些线性定常的单变量控制系统,采用频域法,和具有较强的人、机信息交互功能的软件包,更是受到一般控制系统设计人员的欢迎。

随着 CADCS 技术的发展,目前控制理论中一些具有实际应用的精髓部分,基本上都可以从目前已有的 CADCS 软件包中体现出来。

70 年代初期,图象显示终端的出现和具有人、机信息交互式的 CADCS 软件包的大量出现,标志着 CADCS 技术的发展进入了一个新的阶段。在 CADCS 中,由于人、机之间可以进行有效的信息交互,使得“人”(即用户)也变成了 CADCS 系统中的一个重要的有机组成部分,使得“人”和计算机以及相应的软件,构成了一个有机的整体系统,一种具有一定特征要求的人-机系统。

近年来,CADCS 技术已不仅应用于控制器的综合与设计,而且已逐步扩展用于系统分析、仿真、辨识、建模,以及实时控制等各个方面。所处理的系统,也从工程技术领域逐渐转向各种非工程技术领域(如社会系统、生态系统、经济系统等)。

近年来在 CADCS 系统中,随着人工智能技术的发展,专家系统在 CADCS 系统中的应用日益增多,这对于改善计算机在整个 CADCS 系统中的作用,改善整个机辅设计的环境,均具有十分重要的意义。

§ 1.4 CADCS 技术的意义和作用

全面正确地评价 CADCS 技术的意义和作用,并非一个简单问题。下面仅就教学、科研、生产等三个方面,概要地加以讨论。

CADCS 技术在教学,作为一种重要的辅助教学手段,在国内外不少高等学校中,早已引起了人们的注意,将 CADCS 有意地引入教学,可有助于课堂讲授。因为在讲授控制理论、系统分析与设计以及系统辨识、仿真中,总是离不开画图(如波德图、乃奎斯特图、根轨迹、响应曲线等),而教师在课堂讲授中即可充分利用屏幕上的图形显示、打印机和绘图机的输出打印等功能,向学生形象地讲解系统的工作原理、系统参数对输出的影响、各种输入量对输出量的影响等等。如果利用专用的 CAI 教学辅助包,还可帮助学生进行自学,有利于培养学生研究实际问题、解决实际问题的能力。^①

^① 请参阅 § 1.5 的第 5 点。

CADCS 在工业生产中的应用已比较普遍,特别是对于某些新产品的开发,可获得下面一些明显的效益:可大大缩短产品的设计周期;提高产品的设计质量;便于选择最佳设计方案;大大节省设计人力;降低设计成本。此外,利用 CADCS 技术,对于培训工业企业中的设计人员,提高技术人员素质,也是一种有力的手段。CADCS 技术在工业生产中的作用,最终可集中体现在提高产品的性能价格比,提高工业企业在市场上的竞争能力。

CADCS 在科学研究中的作用,读者可不难想象,它对于发展新的控制理论,开发高性能指标要求的各式新型控制系统,都会具有十分重要的意义。英国著名学者 H·H·Rosenbrock 教授曾说过^[10]：“人与计算机之间的信息交互技术,对于人类未来的影响,将远远大于它对人类现在的影响。”他又说“计算机的能力与人(脑)的能力,具有完全不同的特点,但却有相互补充的性质。计算机长于分析与数值计算,而人(脑)则长于模式识别,对复杂情况的判断,直觉地提出解决问题的方法。因此如果把人、机这些不同的能力和特长有效地结合起来,其作用将会比现在远为强大。”

上述论断足以说明,CAD 技术对科学研究、对人类文明的未来发展,将具有难以估量的巨大作用。

§ 1.5 CADCS 技术的当前发展动态^[13]

CADCS 技术的当前发展动态是多方面的。现在仅就以下几个方面作一些简要的介绍:

1 CADCS 软件包的产品化问题

要开发一个高质量、有一定规模(语句少则几千,多者数万或更多)的 CADCS 软件包,开发者首先应具有一个重要观点,就是应当把软件包当作一种工程产品来开发,因此就应当采用一整套软件工程的思想和方法来开发。对专门从事软件专业的人来说,明确这一观点大约是 70 年代中期的事,对从事 CADCS 控制专业的人来说,在国外大约是 70 年代末的事,在国内则是近几年的事。

对待软件系统的这种观点,意味着人们在认识上的一次飞跃。因为人们逐渐认识到,开发一个有一定规模的软件系统,绝不只是象编写一个小程序那样,只是工作量的简单增加。为了保证软件包的质量,为了使用户乐于使用,开发者必须掌握一套正确的开发思想和方法,这就是软件工程的思想和方法。

当然,目前软件工程的思想和方法,在解决软件产品的开发问题中,并非尽善尽美,而是仍在不断发展中,仍存在不少问题,正如某些文献^[13]所指出的那样:

1) 软件生产是当前技术界的重要问题之一,它的重要性在今后若干年内仍将是与日俱增,当前软件生产状态远不能令人满意。

2) 应把软件开发过程中的各个阶段,看成是一个不可分的整体,应该把技术、人员、经济以及管理等方面的问题,统筹兼顾。

3) 对应于开发的各个阶段,均应有一套行之有效的方法和工具,予以支持。

4) 软件开发环境(包括组织、管理等方面)要与开发技术(特别是引入新技术时)相互配合,不应脱节。

当然,软件包的产品化问题是一个总题目,它包含着大量的技术问题,例如软件系统开发

过程中的结构化分析问题、结构化设计问题、结构化语言问题、结构化编程问题、结构化测试问题等等。因此这是一个很值得重视的问题。

2 人、机信息交互问题

国内外 CADCS 界已普遍认识到,如何进一步提高人、机信息交互的水平,将是 CADCS 技术在今后相当长的一段时间内值得重视的研究课题。

一个 CADCS 系统开发得是否成功,是否为用户所乐于使用,在很大程度上是与该系统的人、机信息交互水平有关。无论系统的功能如何完善,如果使用困难,用户将不乐于使用,这就会直接影响到该系统的作用和生命力。

一个好的 CADCS 系统,在人、机信息交互水平上,应能充分体现出以下诸点:

易于学习,易于使用;能快速有效地进行人、机信息交互;有利于发挥人、机各自特长;认真考虑并照顾到了人的心理因素,生理因素;适应不同水平用户的需要等。

尽管人们对人、机信息交互的重要性早已有所认识,但多年来在这方面的进展一直比较缓慢,这主要是它所涉及的问题,除了需要发展某些高性能的软、硬件外,它还涉及到大量有关“人”的因素问题,难度较大。目前在这方面正在研究的主要课题有:人为错误(human error)的研究;新的交互语言的开发;新的交互方式的研究;自然语言交互研究等。普遍认为,随着人工智能技术的发展,人、机交互水平定将会有较大的进展。

3 CADCS 的智能化问题

人工智能是计算机科学的一个重要新分支。其主要目标是通过建立专门的计算机系统,来显示某些智能活动(intelligent behavior)。近年来,人工智能技术已取得了不少成果。

稍微分析一下人工智能所研究的某些核心问题和 CADCS 的一些主要核心问题,就会发现二者关系是十分密切的。因此,近年来,对 CADCS 技术来说,一个十分重要的发展动向就是智能化问题,也就是如何将人工智能的某些研究成果应用于 CADCS 的问题。

我们知道,CADCS 的重要特征之一,是基于人、机之间的适当分工。传统的作法是由人(即用户)负责决策、控制、指导整个控制系统设计的进程,而计算机则负责大量的运算,数据的存贮、管理。如果把人工智能技术的某些成果引入 CADCS,就会在一定程度上对上述传统关系有所改变。

我们可以把 CADCS 软件技术,概括为以下三个主要核心问题:研究如何把所开发的各种软件作为解决控制系统设计与开发等各种有关问题的有用资源;研究如何提高人、机信息交互水平,充分发挥人、机各自特长;数据库的建立及管理。对应地讲,人工智能也可概括为三个主要核心问题,它们是:感知问题(perception),即研究如何从外部世界有效地提取有用信息问题;问题求解(problem solving),即对于事先尚不知道如何求解的问题,通过对问题进行确切的定义和分析,探索和选择最好的求解方法;知识表达问题(knowledge representation),即探讨对外部世界的一些事实、定律、动作等如何进行表示,以便为人工智能的有关系统所使用。

人工智能技术与 CADCS 技术之间的关系,可以把上述各有关核心问题,联系起来加以分析,即可以看出:

1) 人工智能的各种求解问题的方法(如直觉探索法,问题简化法,定理求证的推断机理以及学习方法等)都是为了用来求解某些问题。而 CADCS 软件资源也是为了用来求解某些问题

(只不过是关于控制系统设计和开发中的有关问题)。因此,如果能把上述人工智能中求解问题的方法用到 CADCS 中,这就会扩展 CADCS 资源的能力。例如,可用人工智能中的学习方法来改进 CADCS 问题的求解策略;利用直觉探索技术,就会比 CADCS 通常的“算法”更适合于解决 CADCS 中某些复杂问题的求解。

2) 人工智能的感知技术,可用来改进 CADCS 的人、机信息交互功能。例如,对于自然语言的理解技术如作为 CADCS 的一种信息输入手段,就可使用户从繁重的键盘输入中解放出来。特别是如果能把屏幕上手写输入方式、键盘输入方式和语言输入方式等相互结合起来,就必然会进一步加强人、机间的信息交互能力。

3) 人工智能的知识表示方法,也可用来改进 CADCS 的数据库的数据管理、存贮及检索等。目前,CADCS 中广泛流行的专家系统,正是人工智能技术中知识工程方法对 CADCS 技术影响的明显体现。

从近年来将专家系统引入 CADCS 的情况即可以看出,计算机在 CADCS 系统中,不再仅仅起着“普通计算助手”的作用,而且还可以发挥一种更加积极的“专家顾问”作用,可以在系统的整个设计和开发过程中,积极提出各种“专家建议”,并可为这种建议向用户进行必要的解释和补充。

4 CADCS 的实时应用

近年来,在某些控制系统实验室里,以及某些工业生产现场中,在过程控制的环境条件下,实时任务的特殊要求,已经与 CADCS 所能提供的方便条件结合了起来,使得 CADCS 的实时应用得到了发展。例如在控制系统实验室里,为了研究室内某个受控过程的建模情况,就可以利用 CADCS 软件包进行系统辨识。实时数据既可以从实际受控过程,也可从过程的仿真系统,直接送入计算机,观察对比在同样输入下,实际过程的响应与仿真模型的响应,以校验模型的准确情况。利用这种方法,还可进行研究模型简化后的影响,以及模型简化方法的实验研究。

在生产过程现场的环境条件下,参数自寻优适应控制,正是 CADCS 技术实时应用的另一种具体体现。因为它可以在实时情况下,进行受控对象的在线机辅辨识,和控制规律的在线机辅计算。现在国内外自控界,均已开发了不少专用于实时控制的 CADCS 软件包。

此外,CADCS 作为控制系统分析、设计的一种有力工具,它还适合于对适应控制系统(具有随机扰动、非线性因素影响、具有某些慢变化的时变参量)的研究。对这类系统采用一般解析法是比较难于处理的。因此可以预期,随着 CADCS 技术的不断发展,参数自寻优适应控制,将会进一步得到发展。

5 控制系统的计算机辅助教育(CAECS)

把 CADCS 技术作为控制系统教学的一种辅助手段,已经是众所周知的事。但从国内外发展情况看,近 10 年来,控制系统计算机辅助教育进展缓慢,与普通中、小学的计算机辅助教育发展情况相比,明显地落后。主要表现在:中小学用于辅助教育的软件包往往包含两部分,一为辅助管理(CAM),一为辅助教学(CAI),两部分相辅相成。特别是 CAI 部分常包括多种不同的模式,如训练、实习、对话、测验、问题求解、仿真研究等,照顾到了学生的整个学习过程的一些主要方面。并且注意到了如何引导学生去正确思维、正确推理等。而目前国内外的一些控制系统辅助教育软件包往往与一般的机辅设计包,无论在结构上或内容选择上均差别不大。这一点

近年来已逐渐引起了自控界人们的注意和关切。

6 大系统的 CAD 技术

近年来人们十分重视把 CADCS 技术,用来解决大系统的建模、优化和控制,这类系统的共同特点是规模庞大、变量多,变量间的关系非常复杂,其运动规律往往不再是简单的物理、化学、生物学等基本规律,而是多学科(甚至包括社会科学)综合作用的结果。对于这类系统的建模、控制、优化,用传统方法已难以胜任,这就迫使人们提出新的思想、新的方法,新的数学工具来进行描述和处理。在这种新情况下,充分利用 CADCS 技术,不仅是明智的,也是必不可少的。就拿对某些复杂系统的评价和检验来说,便十分明显。因为所建的数学模型究竟如何,往往要根据对模型所作的预测,同实际观察的结果进行比较后,从二者相符的程度才能确定。而且模型的建立及上述对比过程,经常是一个多次反复的运算过程,需多次修正、改进,方可达到预期结果。显然这个过程是离不开 CADCS 技术的。值得注意的是,在利用 CADCS 技术处理这类系统时,由于这类系统庞大,参数众多,常常需要相当长的运算时间,因此应使人、机之间的信息交互与这种情况相适应。此外,对系统模型进行必要的降价和化简,对处理这类系统就显得更加必要了。对大系统的建模和控制,是当代人类所面临的重大课题之一,必须认真对待。从国内外情况看,把 CADCS 技术用于处理大系统问题,已有不少的成功例子。但情况仍在发展中,其动态是值得重视的。

§ 1.6 小 结

本章首先概要地指出了 CADCS 是一门与多种科学技术有关的综合性新技术,对它的发展影响最大的是“控制论+计算机”。其次详细介绍了 CADCS 技术的定义。我们认为这是一个十分重要的问题,如果人们把它简单地仅仅看做是控制系统设计的一种工具来看(在它发展的历史上确曾存在过这种看法),不仅会严重影响对这门新技术内容的正确认识,而且也会严重地影响到它的发展。从 § 1.4 和 § 1.5 即可充分意识到这一点。在这里我们还想提出这样一种看法,即充分研究和认识 CAD 技术的发展对推动人类社会前进的巨大意义,是一个十分重要的课题,人们对此应有足够的重视。这也正是作者写本书的一点初衷。如果有了这种认识,那么人们也就会认识到,为这门新技术的继续发展,倾注一点自己的心血,当然是应该和值得的。

习 题

- 1.1 扼要阐述控制论和计算机科学二者相互间的促进作用。它们的发展对 CADCS 技术的产生和发展有什么影响?
- 1.2 何谓 CADCS 技术?为什么说对它的正确理解是一个十分重要的问题。
- 1.3 扼要阐述 CADCS 技术的作用和意义。
- 1.4 何谓 CADCS 技术的智能化?其意义如何?

第二章 控制系统的设计与开发

§ 2.1 前言

近年来,自动控制在工业生产、舰船、飞机、导弹等方面的操纵控制,以及在各种现代武器系统,空间探测装置等方面的应用,正在急剧地增长。同时,对控制系统的技术性能要求也愈来愈高,系统的结构也愈加复杂。此外,控制在其它领域(诸如农业生产,新能源的使用、开发,生态环境,社会经济系统等)也得到了广泛的应用。

在这种客观形势下,控制系统设计与开发的技术水平还远远不能满足实际的要求。某些控制技术人员熟悉的大多仍是经典控制理论的试凑方法,还有些人由于受某些教科书的影响,一直还把控制系统设计与控制系统综合混为一谈;不少人把控制系统设计的技术要求仅仅限于系统的输出响应方面,而对系统的可靠性、可维护性,经济性、人机适应性,环境适应性等方面的考虑很少,甚至根本不予考虑。因此,当系统规模较大、较复杂时,设计者就很难对设计工作进行全面驾驭。因此,近年来人们已逐渐认识到,如何运用系统工程的思想方法来指导和改进控制系统的设计与开发,是一个十分重要和迫切的课题。

本章除了对常规的综合方法及现代控制理论的综合方法,加以简要的评论外,对根据系统工程思想、方法发展起来的“控制系统的结构化设计方法”,也做适当的介绍,以便提请读者充分注意到,正确地认识和掌握结构化设计方法,对充分发挥 CADCS 技术的作用,对促进 CADCS 技术的发展,都是具有重要意义的。

§ 2.2 常规综合方法

控制系统的常规综合方法属于频域法,本质上是一种“分析+图解”的方法。这种方法的最大特点是依靠试探(trial and error),即根据系统的一组性能指标,通过逐步试探和调整,以便达到全部性能指标要求。因此系统综合结果的好坏、综合进程的快慢,均与设计者的经验关系很大。这主要是由于系统的性能指标,是一个性能指标组,是根据系统的时域响应和频域响应的某些特征点的数值,综合考虑而确定的。因此,得到一个同时能满足指标组中各个具体指标的系统,并非易事。往往需要多次反复,多次试探。最终所得结果,可以是满足指标组的各种可能组合,没有唯一解,当然也谈不上优化。因此,随着设计人员经验的不同,所选定设计方法的不同,所确定控制结构的不同,对同一个性能指标组要求,对同一个受控对象,就可能得到多个不同的设计结果。

在进行高阶系统综合时,设计者常采用主导极点(在负 S 平面上最靠近虚轴的极点)的概念来进行简化设计。但随着系统阶数的提高,或者非线性因素的影响,利用主导极点概念进行的简化设计所带来的缺陷就会越加明显。

此外,对高阶系统以及含非线性因素的系统,很难从理论上或实践上确切地鉴定出某个给定的性能指标组是否合理。这是因为试探法在这种情况下,回答不出最终究竟是否有解。从理论上讲,如果某个设计经验不足的设计者,面对一组不合理(但并非十分明显)的性能指标,他