

计算机辅助控制工程软件发展的新趋势

袁 曾 任

(清华大学计算机系, 北京)

提要 本文介绍了计算机辅助控制工程(CACE)发展概况,特别是第三代CACE引入人工智能(AI)技术这一新趋势。还介绍了以规则为基础的专家系统设计CACE软件的结构等。

1 CACE 软件的去

目前国外已有人将控制系统计算机辅助设计(CADCS)扩充为计算机辅助控制工程(CACE)。CACE正在许多领域得到广泛的应用,例如建筑,机械设计,VLSI设计,偏微分方程(PDE)动态性能求解,以及控制系统的分析和设计等。不同领域的应用很大程度上取决于所涉及的对象。尽管一些情况下,CACE主要是图形学方面的问题;而在另一些情况下,几乎主要是数值方面的问题。但在不同领域的应用中,都有着许多共同的问题。

CACE所涉及的内容大致如下:

- 对象的建模;
- 确定对象模型特性;
- 修改对象结构,使其更适于控制;
- 列出设计问题各部分的方程式;
- 检查设计问题,特别是根据给定对象模型和设计约束确定实际技术要求;
- 执行恰当的设计步骤;
- 进行必要的设计折衷;
- 设计验证;
- 提供最终设计的完整文件;
- 实现最终设计。

这样我们可以把已有CACE软件的发展看作两个发展阶段或称两代。第一代在60年代和70年代初期,属于算法和程序库阶段。它们通常是由一个或少数个别目的程序作为分析和设计的支柱。第二代是相当数量的程序组成软件

包。此时显著的标志是具有单个数据库,并拥有分析和设计过程容易使用的环境。瑞典隆德大学研制的交互式软件包是比较完善的。第二代软件很先进,但对大多数非专家用户来说,有效地使用它们还有困难,特别是存在以下问题。

- 大多数现有CACE软件包只能做总设计过程中某个方面的设计,只能做时域或频域设计,并且只能做一种特定的综合。因此设计者会受到限制。非线性仿真,线性化,线性分析和线性控制器设计的软件,在现有的CACE软件中甚少,并且这些在一个软件包中也难以得到。

- 大多数现有软件包提供问题求解的环境通常是有效的,但水平相当低。为了有效地利用有理解力的软件包或者包集,用户需知几百条命令或几条句法。

- 大多数软件包几乎没有提供指导,因而用户必须使对象模型公式化,恰当地形成设计问题,准确地知道执行步骤和对问题有实际感受,就是说有能力判断每步所得结果的意义,并知道怎样继续进行下去。

- 大多数软件包几乎没有提供设计过程有用的文件。

- 大多数软件包在验证和实现最后设计方面,几乎没有提供有用的支持。

从以下发展趋势来看,上述问题会显得更加突出。

- 新控制系统设计方法将不断地在CACE

收到本文的时间是1986年10月11日,

软件中实现,并且它们的应用软件也在发展,例如统一古典和现代的设计方法,非线性系统控制器通用设计方法的新进展等。

• CACE 涉及的内容正在以软件实现。计算机辅助控制器的实现和建模支撑软件,对 CACE 环境的发展将是有力的推动。

因而,改进 CACE 环境十分必要。考虑处理整体问题的环境,使用户在高水平下工作,对非专家用户提供引导和支持,以及广泛的各式各样的分析和设计方法,无须熟记一大堆低级命令。这样,人们势必会考虑引入 AI 中专家系统来实现这些要求,称之为第三代 CACE-III。

2 CACE 软件的现在和未来

CACE-III 以引入 AI 为标志。它是基于人类专家按前面提到的 10 步,系统地进行工程设计而得到的。因为这种模型和方法具有通用性,所以其结构在工程设计领域有普遍价值。以规则基为基础的专家系统 CACE-III 结构,就是从工程师怎样能够完成前面提到的 10 方面工作出发的。这种问题的处理可分为问题框架和求解框架。CACE-III 的功能结构见图 1。

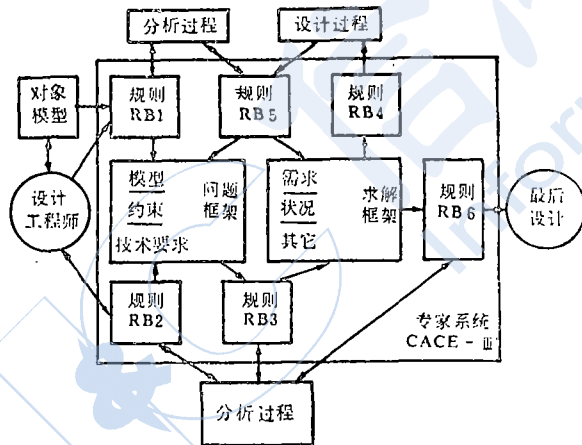


图 1 CACE-III 的完整功能结构

RB1 规则基负责设计工程师、对象模型(非线性和线性)以及问题框架(模型和约束部分)之间的交互。对模型形成和提供要求(以问题框架中的对象模型和设计约束为特点)方面给以支持。模型形成方面的支持包括:利用辨识方法上的指导;建议修正像缺少可控性与/或

可观性一类问题的不足;提出关于模型的数值易处理的建议。这些是 CACE-III 诊断能力的主要部分。

RB2 负责设计工程师和问题框架中技术要求部分之间的交互。在输入设计技术要求和检查哪些作为相容性、完整性和实用性的技术要求方面指导用户。管理实际的规则基,主要是根据问题框中模型和约束部分,给出有具体数据的闭环系统,考虑什么样系统可以实现。

上述两类规则基的目标在于有良好公式化,确保设计阶段可能成功。

RB3 规则基管理问题框和求解框之间的交互。处理技术要求、约束和对象特性,以及建立或修改在求解框中描述需要做什么才能完成设计目标的事实的一览表。例如给定一稳态误差要求, RB3 将估算线性化对象模型的低频增益 $G(0)$ 和确定是否必要增加低频开环增益。

RB4 管理求解框和设计过程之间的交互。例如 RB3 确定了低频开环增益需要提高,那么 RB4 可以调用一种设计方法,增加在前向通道中的静态增益,或者设计一个合适的滞后补偿器。

RB5 管理设计方法和问题框、求解框之间的交互。每一时刻有一种设计方法得到执行,求解框对在开环传递函数上反映相应的增加/变化(例如增加增益或动态补偿块)必须适时修改。它还能通过选择放宽技术要求,如果原有技术要求不能得到满足,则恰当地修改问题框来折衷分析。

RB6 负责最终控制系统验证过程,由理想的控制器设计到实际实现的对话。验证主要由分析和仿真组成,保证完成此步后,对象实际模型、控制器详细表达式以及规定实现系统的性能合在一起,从而达到设计要求。

上述结构又发展成为图 2 的专家系统结构。

该专家系统由 GE 的 DELPHI 推理机和以下的传统分析和设计软件组成。

• 剑桥的线性分析和设计程序 (CLADP) 能实现时域或频域对 SISO 和 MIMO 系

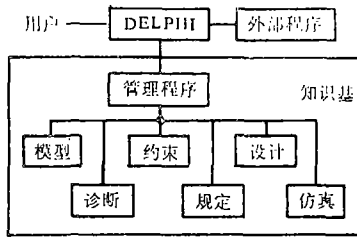


图2 专家系统结构

系统的分析、设计和仿真。

• 1977年Elmqvist研制成的SIMNON提供了非线性系统仿真。1982年Taylor对它进行了扩充，提供了非线性系统模型平衡点附近的线性化和寻找平衡。

• 特征值分类程序通过专家系统提供了系统模型时域特征的诊断基础。

知识基模块化可减少分析和设计所要求的时间，并使专家系统容易扩展、改进和保存。

图2知识基中六种运行规则基，通过一组管理规则(meta-rule)聚集在一起，管理规则检查问题求解的现状和决定下一步需要做什么。管理程序的一组规则的流程图见图3。

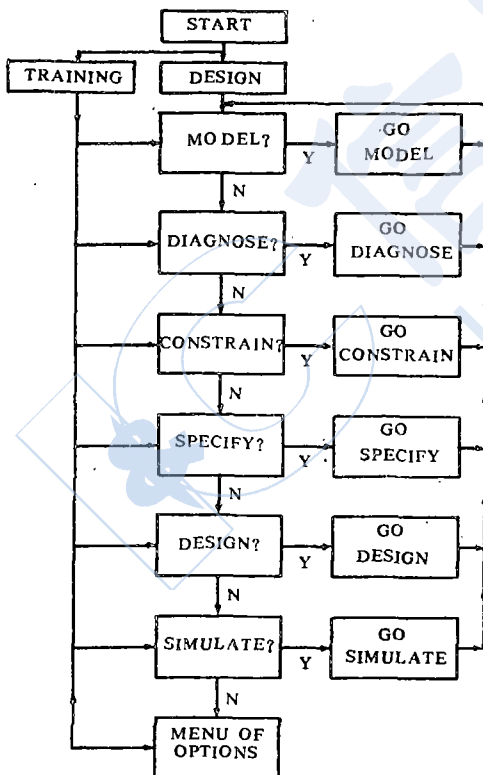


图3 管理程序一组规则的流程图

模型规则基帮助用户建立一个线性模型的CLADP描述，或要求用户进入已开发的CLADP文件名，还可定义一个非线性SIMNON模型，进而找平衡和确定线性化模型。

诊断(DIAGNOSE)规则基的功能在于分析对象模型的特点，提供S域信息，如开环系统的稳定性，系统的类型(0, 1和2型)，对象是否有一个主极点或极点对，开环带宽，未补偿增益和相位裕度，低频增益或速度常数，单位反馈的闭环带宽等等。

约束的功能是使用户能输入约束，目前是支撑频域参数化约束，如关于补偿器dc增益，增加相位超前或通过滞后增加低频增益等。

设计规则基帮助用户应用CLADP过程，设计SISO线性对象的超前-滞后预补偿。自动设计补偿器的启发式的提要如下：

- 加入超前补偿器，在希望的闭环带宽处调节开环的相角；
- 增加或调节常增益预补偿器，满足增益裕度；
- 使超前补偿器中极点/零点比率做增量变化，调节实际的闭环带宽；
- 重复第二步和第三步，直到增益裕度和带宽要求得到满足；
- 加入滞后预补偿，调节低频增益(0型系统)或速度常数(1型系统)。滞后配置使Nichols轨迹的高频部分不会得到较大的干扰。

仿真规则基便于闭环系统的仿真。

推理机的机理有前向链和逆向链。前者用事实目录确定当前的情况，运用推理规则取合适的动作，继续进行过程的下一步，直至找到所需要的目标。逆向链是从目标出发，运用推理规则希望在数据库中找到事实的目录以证实该目标。它的推理目的性比较强且比前向链更有效。DELPHI推理机用Franz LISP语言编写的软件，还有一个LISP功能，可以用于建立VAX子过程，其用存储器中的公用单元做为子过程的输入和输出的入口，读和写功能亦可通过公用单元和子过程通讯。用存储器中公用

单元启动外部程序, 见图 4。而后给它们传送命令并用文件从它们那里接受数据。

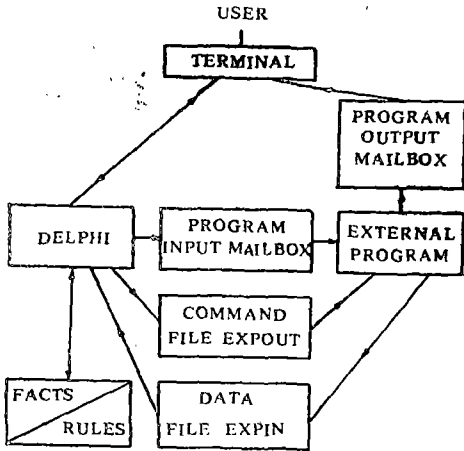


图 4 运行外部程序

推理机内有支撑数值运算的运算功能, 能够利用被赋数值或者符号值的逻辑变量, 以及与外部程序运行和交换信息的能力。

目前 CACE-III 有实时和离线两类。从应用看, 有的针对整个软件包和某个独立的应用程序。例如应用专家系统编程技术于古典 SISO 连续时间对象的频域设计法设计超前-滞后补偿器, 再如利用实时专家系统提供自适应控制

系统中的自适应能力。这种系统已经成功地用于运行在地形跟踪状态下的歼击机的飞行控制系统的的设计, 这是一个开发系统, 设计迭代速率与实时应用还有距离, 有待改进。

参 考 文 献

1. James H Taylor, Dean K Frederick, An Expert Architecture for Computer-Aided Control Engineering, IEEE Proceedings 1984, 72 (12):1795-1805
2. James J R, Taylor J H, Frederick D K. An Expert System Architecture for Coping with Complexity in Computer-Aided Control Engineering, In: proc 3rd IFAC Symposium on CAD in Control and Engineering Systems, Lengby, Denmark, 1985
3. James J R, Frederick D K, Taylor J H. On the Applications of Expert Systems Programming Techniques to the Design of Lead-lag, In: Precompensators Proceedings of the Control 1985 Conference, Cambridge, UK
4. Trankle Thomas L. An Expert System for Control System Design
5. Åström K J, Anton J J, Expert Control, 1984 IFAC Conference, Budapest, Hungary, 1984

双线性分布参数系统近似和状态观测器设计¹⁾

本文以甲醇固定床反应器这类非线性、参数强迫的分布参数系统为例, 提出用双线性分布参数系统近似的方法。通过仿真证明, 这种近似是成功的, 它可在工作点附近较大范围内近似原始系统, 其近似精度比线性近似高。这就给出了这类复杂过程的一种新的研究途径。

本文还研究了状态观测器的设计。对甲醇固定床

反应器的双线性分布参数近似模型, 提出先用另一类加权余量法——正交配置法集中化, 然后采用本文建议的一种方法来设计双线性集中参数状态观测器。这实际上给出了一种设计双线性分布参数系统状态观测器的新方法。该法用于一实际例, 结果表明是有效的。

1) 内容摘编自华向明、蒋慰孙(上海华东化工学院自动化研究所)的文章“双线性分布参数系统近似和状态观测器设计”。