

线性控制系统计算机辅助 设计的专家系统

袁曾任 吴兵

(清华大学计算机科学与技术系)

摘 要

本文研究并实现了用于进行控制系统的计算机辅助分析和设计的专家系统。介绍作者提出的一种新的分层的专家系统总体结构。该系统为控制问题在计算机中的描述提供了一个良好而统一的方法。具有运用和处理控制领域中知识和经验的能力；问题求解的机制中有语义回溯能力；对知识库有编辑能力等。简要介绍系统的三种工作模式和体现系统智能水平之一的两级知识库。该系统已在 IBM-PC/AT 和 COMPAQ-386 等机器上运行。

关键词——专家系统,控制系统,计算机辅助设计(CAD)。

一、前 言

人工智能与自动控制的结合是当今自动控制领域发展的重要方向之一，其中发展比较迅速的是专家系统在实时控制及离线控制系统计算机辅助分析和设计 (CADCS) 两方面的应用。现在普遍使用的是七十年代后期形成的第二代软件，它是在第一代软件的基础上加了管理程序，形成软件包。为用户提供了简易的使用环境，但对非专家用户和初学者来说，要有效地使用它们，还有不少困难，因为现有软件包存在两方面主要缺陷：一是对用户要求比较高，不仅要求用户有控制理论方面的知识，而且还要有问题求解以及使用规则和算法组织等知识。此外，要熟悉软件包本身及管理程序面对用户的接口；当某项设计的性能指标难以满足时，该采取怎样措施予以改善或折衷等，全得由用户决定。设计过程无自主的回溯能力，设计过程的试凑特点得由用户自己完成。二是在设计过程中未能全面考虑人的丰富设计经验和尚未形成科学体系的知识。现有的软件包对问题的分析和设计都只依赖于它们中已有的算法，缺乏运用知识来处理问题的能力。

总之，上述缺陷的实质在于软件包中缺少必要的对控制问题中一些无法用数学严格表达的知识的描述和对它们的处理能力以及求解问题的推理能力。人工智能与 CADCS 结合形成 CADCS 的第三代软件是发展的必然趋势。目前国际上许多学者在从事这方面的研究工作^[1-6]。

在 1985 年和 1986 年分别研制成以 BASIC 和 PASCAL 语言编制的第二代软件并通过了鉴定。在此基础上,于 1987 年初研制第三代软件,1988 年初完成第一版本,于 1989 年初通过了鉴定。

研制成的 ESCADCS 总体结构是由知识库、数据库、推理机和接口四个主要部分组成。重点介绍该系统的总体结构和知识库。

该系统在分析和设计时,处理的各个环节是多输入多输出组成的线性控制系统,在仿真时,环节可以有非线性和采样环节。功能有:1)建立对象模型(包括模型表达形式和性能指标的智能转换);2)控制系统的分析(判断稳定性和绘制波特图)和仿真(连续、离散、采样和随机噪声系统);3)基于古典控制理论的设计方法;4)基于现代控制理论的设计(系统的类型有连续、离散和采样系统,方法有极点配置、二次型最优和次最优,带观测器或不带观测器,控制器的类型有连续和离散两种);5)用系统辨识方法实现计算机辅助建模。

该系统有三种工作模式:1)自主地选择设计方法,规划出设计路径,寻求一个可行的解;2)用户可自选系统中已有的设计方法和实现动态干预设计过程;3)由系统求出所有可能的解。

该系统已运行在 IBM-PC/AT 和 COMPAQ-386 等机器上,硬件环境需要 1M 硬盘空间和 640K 内存空间以及在图形卡支持下的显示器。软件环境要有 GCLISP、TURBO-PASCAL 和编译 BASIC 语言。为尽量发挥各种语言的优点,在编制该系统时,采用多种语言共用而以 GCLISP 为主体。

二、ESCADCS 的总体结构

在建立 ESCADCS 时,首先面临的问题有

- 1) 被控对象的描述在形式上的不统一性;
- 2) 同一种描述的多意性;
- 3) 处理操作结果的不可预知性和设计的试凑性;
- 4) 接口的复杂性,这是由于要输入、输出信息的种类太多。

解决第一个问题是重要的,但有一定难度,因为对控制系统描述的信息是很多的,如它的性质、类型、表达方式和结构,必要时还要引入限制和要求等。要在计算机内形成对控制问题从整体上有统一的描述方法而不依赖于各种具体问题,就是说对于一个表示控制系统的数据库,怎样从已知控制系统的信息中,知道与这些信息等价的只是形式上不同的其它信息,对这些控制问题的描述信息又是怎样实现统一管理呢?作者提出的控制系统模型数据库就是用于统一管理这些信息的系统,它是以多输入多输出环节构成系统结构图的形式统一描述被控对象模型,为了能在这个数据库内部自主地实现相应的智能转换,显然要拥有推理能力和知识库,这个数据库本身就是一个子专家系统。

ESCADCS 的总体结构就是根据上述模型数据库的思想来划定的。它是分层次的专家系统结构,整体的专家系统嵌套有一个子专家系统。见图 1。

模型数据库中的推理机、知识库和数据库称为一级的,把这以外的整个系统称为二级的,知识库中知识的深度随层次而不同。情况记录数据库是对系统本身工作状态的情况

进行记录的数据库。

一级数据库是用树状的数据结构表示的。控制系统模型数据库已能完成关于模型和性能指标的转换、系统分析、仿真和辨识等功能。余下的只有系统设计方面的功能了，这正是该专家系统的核心部分。设计过程本质上是在构造一个新控制系统，自然它只能以模型数据库为数据库，在高一层次上进行。又由于设计过程是一个试凑过程，必须拥有语义回溯机制，对一个设计过程，其输入信息除控制系统模型描述及所要求的性能指标外，还要有以前所做过的设计情况。二级数据库所要装的信息内容

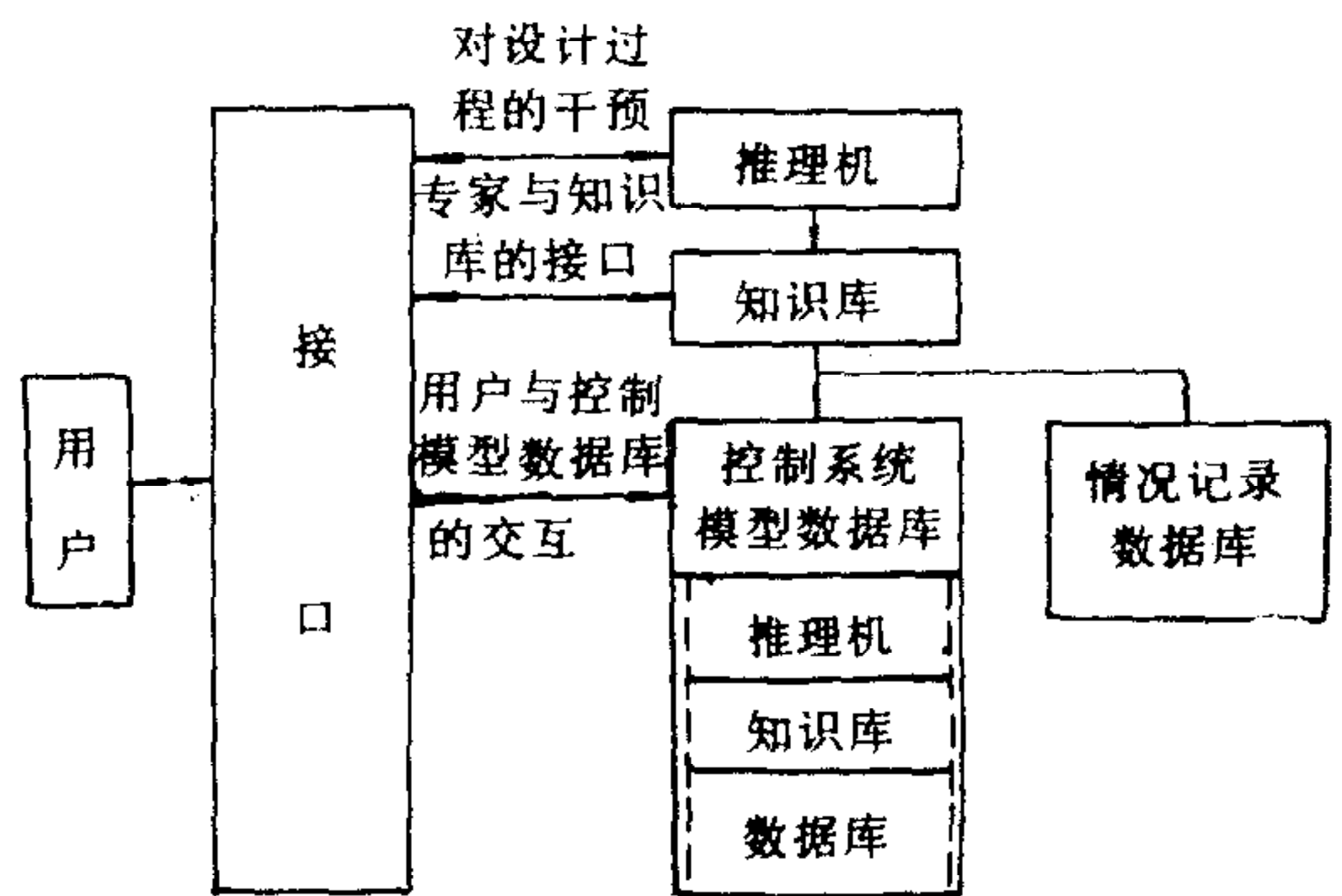


图1 ESCADCS 的总体结构图

有：对某个特定的控制系统；提出了什么样设计要求，针对这个要求尝试了哪几种设计方法，在每种方法中都做过了哪些方向上的寻优等，显然对这种问题也可用树状的数据结构来表示。

在实现总体结构中，灵活运用了 AI 技术以适应 CADCS 的特点。一级知识库用包括前件谓词、后件谓词、操作三部分的产生式规则组成。一级推理机采用逆向推理和基于深度优先的改进算法。二级知识库本质上是属于产生式规则而且是树状结构，二级推理机采用正向推理和基于树的深度优先的搜索算法。

此外还建立了知识库的编辑器，为修改和扩充库中的知识准备了条件。用户还可通过对推理机的交互实现动态地修改系统中所有指标和二级推理路径及操作，达到了对设计过程的动态干预。

三、知识库

知识库和推理机是专家系统有智能的核心。

3.1. 一级知识库

基本任务是完成“凡不改变原控制系统的一切描述形式之间的转换”，这种转换实际上包括了系统的分析、仿真和辨识，当然也包括数学模型之间的转换，这样模型数据库就能向外提供此控制系统的所有信息。

产生式规则的形式为：IF 前件谓词 THEN 后件谓词 ACTION 操作，此外还有一项称为本规则的置信度，反映使用本规则可使问题得到解的可能性。一级推理机要参照这一项以期尽可能走最优或较优的求解路径。

为提高一级推理机使用这些知识的效率，一级知识库按规则的职能分为七个模块：初始化块；模型转换；仿真；辨识；指标转换；设计和模型分析块。现举模型转换块中的规则为例：

已知模型的连续传递函数 S -FUN, 则可求出模型的状态方程 $ABCDN$ (模型或环节的阶数) R (模型或环节的输入维数) M (模型或环节的输出维数)。

3.2. 二级知识库

二级知识库所要表达的知识集中在如何进行设计方面,其内容一般都是根据控制系统的特性、相应的设计指标和要求,还要根据以前的设计情况来确定下一步的设计工作。

二级知识库总体上是按功能分枝的,现按 PID 串联校正,极点配置法和二次型最优法的三个方面再分七个分枝。现举二级规则树中二次型最优法的某分枝为例:

线性系统状态能观

如果对制控器的类型没有要求

系统连续

对系统的要求是二次型加权阵

做: 最优法校正,不用验证校正结果

对系统的要求是对系统输入的限制

做: 用对输入的限制估计二次型加权阵之后,用最优法校正,

不用验证

离散系统

.....

二级知识库中有一些谓词是过去情况的判断,语义回溯功能就是通过这类谓词起作用。

参 考 文 献

- [1] Taylor, J. H. and Frederick D. K., An Expert System Architecture for Computer-aided Control Engineering, IEEE Proc. **72**(1984), 12, 1795—1805.
- [2] Taylor, J. H. et al., An Expert System Scenario for Computer-aided Control Engineering Proc. American Contr. Conf. (San Diego, CA), 1984, 120—128.
- [3] James, J. R. et al., An Expert System Architecture for Coping with Complexity in Computer-aided Control Engineering Proc. 3rd IFAC Symposium on CAD in Control and Engineering Systems, Lyngby, Denmark, August 1985.
- [4] Birdwell, J. D. et al., Issues in the Design of a Computer-aided Systems and Control Analysis and Design Environment ORNL TM-9038, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN. 1984.
- [5] Birdwell, J. D. et al., Teaching with the CASCADE Computer-aided Control System Design Environment Proc. 19th Southeastern Symposium on System Theory Clemson, SC, March. 1989.
- [6] Birdwell, J. D., An Expert System Can Aid in the Evolution of a Design Methodology, 1987 ACC June, 10—12.
- [7] 袁曾任,计算机辅助控制工程软件发展的新趋势,信息与控制, **16**(1987),2,46—49.
- [8] Wu Bing, Yuan Zengten, An Expert System for CAD of Control Systems Association for the Advancement of Modelling and Simulation Technique in Enterprises International Conference Nov. 1988, 7—9.
- [9] 吴兵、袁曾任, CADCS 专家系统的结构和对控制问题的描述方法,系统仿真,(1989),1,23—28.
- [10] 袁曾任、吴兵, CADCS 专家系统的一种新结构及实现,控制与决策, **4**(1989),4,35—39.

AN EXPERT SYSTEM FOR CAD OF CONTROL SYSTEMS

YUAN ZENGREN WU BING

(Dept. of Computer Science and Technology, Tsinghua University)

ABSTRACT

An expert system for CAD of Control Systems is studied and realized by the authors. A new hierarchical architecture for CADCS expert system is proposed. The system provides well-unified representation of control problems, and has the capability of treating knowledge and experiences of control problems, the backtracking capability in the problem-solving mechanism and the editing capability for the knowledge base, etc. The two-level knowledge base is briefly presented. The system has been implemented and run on the IBM-PC/AT and 386 microcomputer.

Key words —— Expert system; control system; computer-aided design.