

控制系统 CAD 软件包的设计

——CSCAD 的实现及其应用

王治宝 卢桂章 王秀峰

(南开大学)

摘 要

本文给出了控制系统 CAD 软件包 CSCAD 的不可见部分, 这就是 CSCAD 的实现。CSCAD 的实现过程就是包对子包的调用以及对子包的命令行组进行译码, 并按其子命令名调用其相应的算法的过程。在译码过程中, 重点讨论了非线性函数表达式的译码及其计算。为此构造了一个虚拟的运算器以及相应的指令系统, 非线性函数表达式就用该虚拟指令系统自动编程序, 生成非线性函数表达式的计算程序, 该程序在虚拟运算器上运行便可得到非线性函数表达式的值。最后举例说明了包的应用。

一、引 言

本文讨论控制系统 CAD 软件包^[1]的实现问题, 为使方法具有一般性且又切实可行, 我们在设计过程中仅作两点假设: 第一, 计算机具有某种磁盘操作系统; 第二, 在该操作系统下, 可使一种高级语言运行。

对包的典型功能的应用在本文最后一部分举例加以说明, 其中包括调用不同子包的命令完成一个任务, 用同一子包的若干条命令完成一个任务以及非线性函数表达式的运用。

二、CSCAD 软件包的总体实现方法及其与子包的接口

CSCAD 软件包总体程序的功能是接受各命令名, 并给以适当处理。

在管理命令中, 若是开关命令和简单循环命令, 则在包总体程序中得以完全实现。若是先导命令 (即子包名), 则依据子包名作好调用该子包解释程序的准备。

如果是功能命令, 判断先导命令是否出现过, 若出现过, 依据最近子包名调用该包运行, 若没出现过, 显示“缺先导命令”。

如果是宏命令, 则执行一个宏命令命名的程序文件中的程序。

包总体的程序框图如图 1 所示。

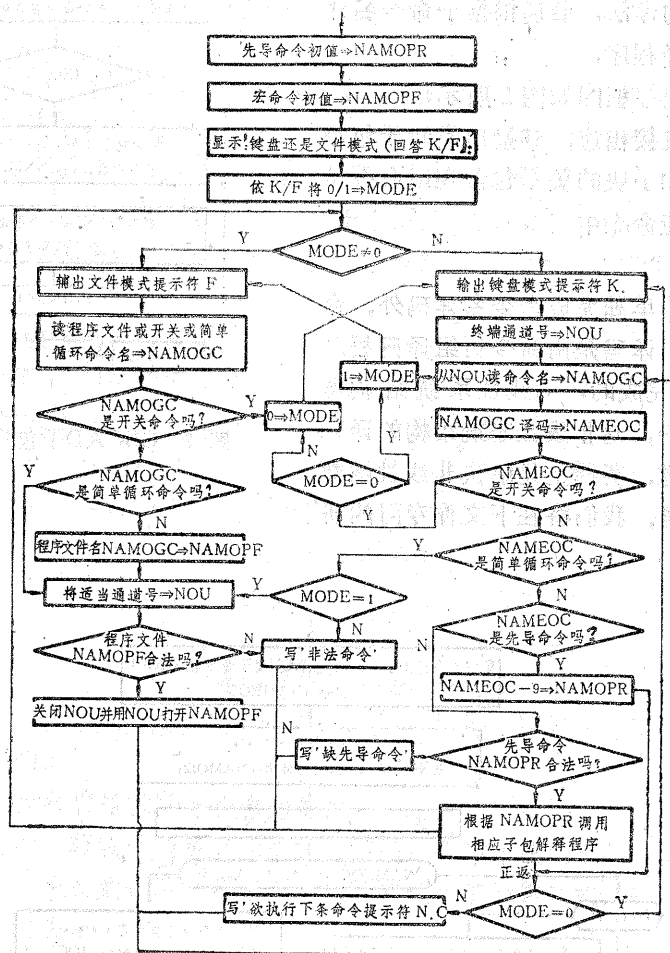


图 1 CSCAD 软件包总体程序框图

包与子包的接口。如果用 FORTRAN IV 子程序的形式描述, 那么, 这个接口就是一个如下的子程序语句:

SUBROUTINE $\times\times\times\times\times\times$ (NOU, NAMOGC, ERROR) 其中 $\times\times\times\times\times\times$ 是一个子包名, NOU 是命令名的通道号, NAMOGC 是功能命令的命令名。例如系统辨识子包的接口是:

SUBROUTINE IDENSP (NOU, NAMOGC, ERROR)

三、CSCAD 子包的实现方法

1. 子包的管理

子包首先根据功能命令名 NAMOGC 译码, 并继续从 NOU 通道中取其他各命令

并译码,在译码过程中,系统结构可根据命令名的不同有不同的译法.最后根据子命令名译码调用子命令解释程序.

子包总体的程序框图如图2所示.

子包与子块直接相连,其接口类似于包和子包的接口.块和子块的关系包含在以命令行组形式描述的功能命令中^[1].

2. 译码

在子包中除了单独完成命令名译码外,命令行组中其他行的译码是由命令行组译码程序 ICLGC(图3)完成的.对线性系统结构参数的译码是显然的,对非线性系统结构的译码是一个复杂的问题,实质上是解决非线性函数表达式的计算问题,我们将在下文作专门的研究.

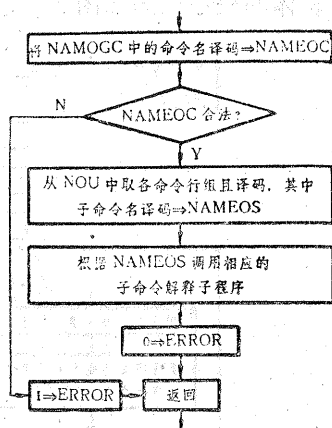


图2 CSCAD子包总体程序框图

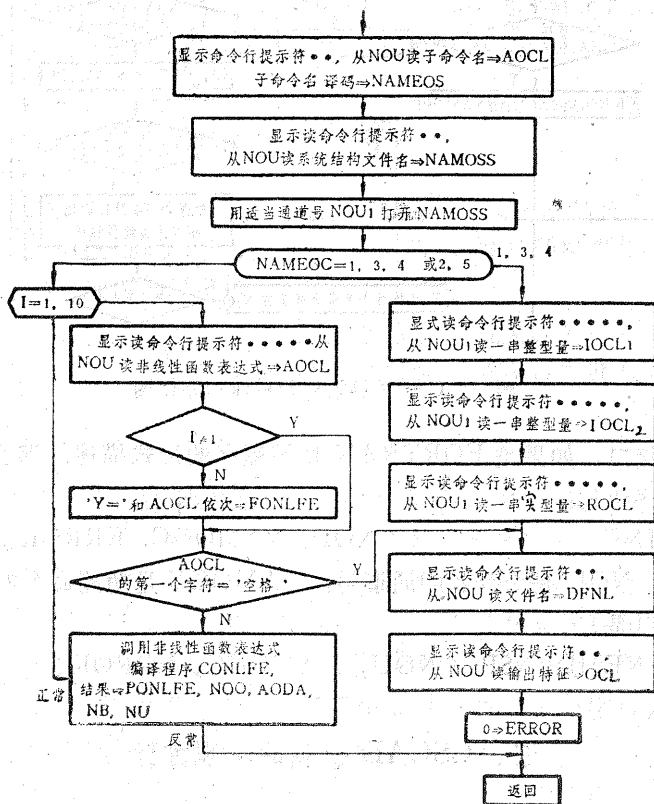


图3 命令行组译码程序 ICLGC 框图

四、非线性表达式的自动编程

众所周知,目前我们已见的任何一种高级算法语言,在其被执行的过程中,只能接受一个字符串形式的表达式,但不能对其进行计算。其根本原因是高级算法语言已到被执行阶段,对表达式不能再进行编译。为了克服这一困难,我们提出了一个用软件实现的虚拟运算器,并为该运算器构造了一套指令系统,然后用这套指令系统自动编制计算非线性函数表达式值的程序,该程序在虚拟运算器上运行便可得非线性函数表达式的值。

1. 虚拟运算器的指令系统

虚拟运算器指令系统的定义是

〈虚拟运算器指令〉=〈操作码〉〈第一运算对象指针〉〔〈第二运算对象指针〉〕〈运算结果指针〉 其中符号〈·〉表示“·”是一个语法单位,符号〔·〕表示〔·〕中的“·”可有可无,符号“=”表示“就是”的意思。

〈操作码〉=〈正整数〉

〈第一运算对象指针〉=〈正整数〉

〈第二运算对象指针〉=〈正整数〉

〈运算结果指针〉=〈正整数〉

操作码的意义见表1,其中操作码 ϕ (数字零)表示恒等(IDE)运算,对于用户来说,这个运算是不必要的。

2. 非线性函数表达式计算程序的形式

在高级语言中,非线性函数表达式的计算程序可用上述指令设计,程序的形式是一串正整数,每四个正整数表示一条指令。这种非线性函数表达式的程序可用一个一维整型数组PONLFE表示。

3. 虚拟运算器

如图4所示,虚拟运算器是用一个程序实现的,称为非线性函数表达式的运算器程序AONLFE。虚拟运算器的功能就是执行非线性函数表达式程序PONLFE。当运算器运行时,还必须为它提供程序PONLFE中指令的条数N001。运算对象及结果指针是数据区数组AODA的下标,AODA有若干元素,分为四组,第一组依次表示非线性函数表达式及其偏导数的不同常数;第二组依次表示非线性函数表达式不同的待定参数;第三组依次表示非线性函数表达式不同的输入变量;第四组依次表示运算过程必须保存的中间结果。

函数除了加、减、乘、除及恒等必须给出定义外,其它函数是否要定义,视使用的高级语言的不同而异。

4. 非线性函数表达式的自动编程^{[2][3][4]}

用虚拟运算器的指令系统,将数组AOCL内的非线性函数表达式编制成程序PONLFE是由软件自动生成的,称这个软件为非线性函数表达式的编译程序CONLFE,

这个编译程序较长, 可参阅 LANSIP 的实现一文^[5].

表 1 虚拟运算器指令系统操作码意义

操作码	41	42	43	44	45	5	12
意义	↑	*	/	+	—	EXP	LN
操作码	9	3	2φ		17	φ	
意义	SIN	COS	TANH	ATAN	SQRT	IDN	

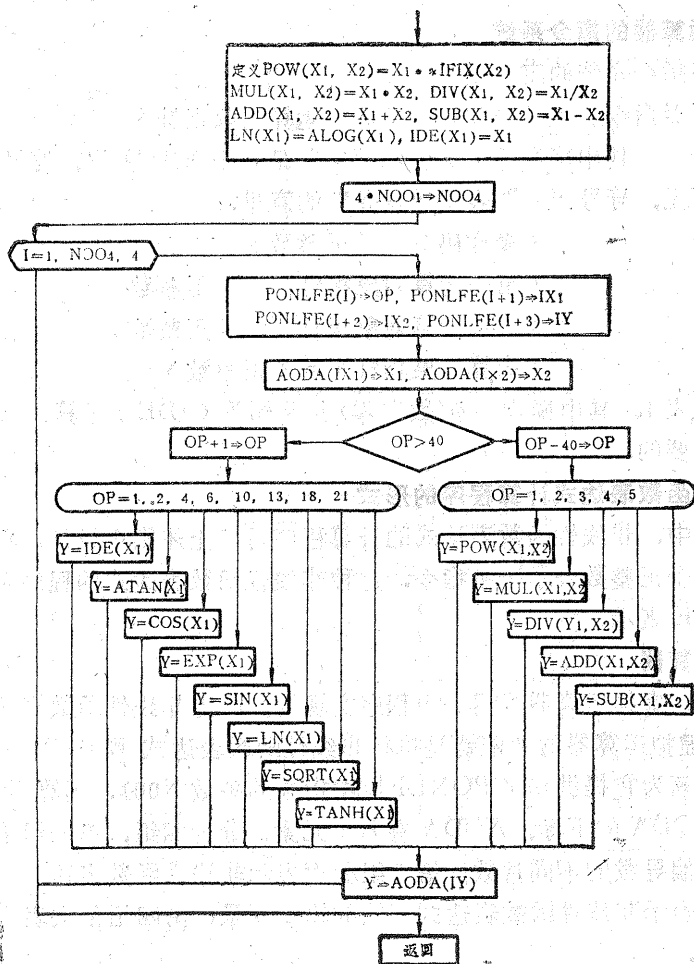


图 4 非线性函数表达式 (虚拟) 运算器程序 AONLFE 框图

五、子命令的接口

依系统结构^[1]的异同, 不同类型的子命令可以有不同形式的接口, 例如在系统

识子包中,把子命令分成两类。其结构是用线性系统结构参数表表示的子命令,称为线性系统结构子命令。其结构是用非线性函数表达式表示的子命令,称为非线性系统结构子命令。

1. 线性系统结构子命令的接口

线性系统结构子命令的已知信息是整型参数 IOCL,实型参数 ROCL,数据文件名表 DFNL,输出特征 OCL,计算过程有各种自动查错处理,其标志是 ERROR。有了这些信息,考虑到适当的转移形式,就构成了线性系统结构子命令的接口。例如用 FORTRAN 子程序语句表示接口,其形式是:

```
SUBROUTINE NM(IOCL, ROCL, DFNL, OCL, ERROR)
```

其中 NM 是任意子命令名。

2. 非线性系统结构子命令的接口

非线性系统结构子命令的已知信息是非线性函数表达式程序 PONLFE,程序中的指令条数 NOO,计算非线性函数表达式的数据区 AODA,非线性函数表达式参数的个数 NB 和输出变量个数 NU,输出特征 OCL. 错误标志 ERROR. 同样,考虑到适当的转移形式就构成了非线性系统结构子命令的接口。例如用 FORTRAN 子程序语句表示接口,其形式是:

```
SUBROUTINE NM(PONLFE,NOO,AODA,NB,NU,DFNL,OCL,ERROR)
```

3. 虚拟运算器 AONLFE 的用法

对于非线性系统结构子命令,除了给出接口外,还必须明确非线性函数表达式虚拟运算器 AONLFE 的用法。例如在 FORTRAN 语言中,这个虚拟运算器的用法是由一条子程序语句描述的,其形式如下:

```
SUBROUTINE AONLFE (PONLFE, AODA, NOO1, Y)
```

其中 PONLFE 是某个非线性函数表达式的运算程序,NOO1 是其指令条数,AODA 是其计算的数据区,Y是非线性函数表达式的值。

六、应用实例

CSCAD 软件包的功能是多方面的,使用是方便的,有效的。下面通过几个例子来说明。

例1 调用辨识子包 IDENSP 中的非线性辨识子命令 MQ (Marquadt 方法解非线性最小二乘问题)去辨识化学反应动力学模型中的参数,模型是

$$y = 2.066V \cdot a \cdot K e^{-\frac{E}{RT}} c$$

其中 K: 频率因子, E, 活化能, V: 反应体积, a: 催化剂活性, T: 反应温度, c: 反应物浓度, y: 产量
K, E 是待估参数, V, a, c 可检测, T 是操作变量。

这时不需要用户编写计算非线性函数的子程序,只要输入非线性表达式即可。现在采用文件模式,在键盘上的交互过程是:

WORK MODE? (K/F): F

F. MQPRO┐┐┐PRO

其中带横线标志的是软件包的问话或提示, 不带横线标志的是人在终端上打入的信息. MQPRO. PRO 是命令文件名, 其内容就是命令行组, 具体内容是:

NI (非线性系统辨识命令名)

MQ (Marquadt 法子命令名)

2.066 * UA * UVR * PK * EXP(-PE/(1.987 * UT)) * UCA

2.066 * UA * UVR * EXP(-PE/(1.987 * UT)) * UCA

-2.066 * UA * UVR * PK * EXP(-PE/(1.987 * UT))/(1.987 * UT) * UCA

┐
MQR┐┐┐┐┐DAT NID┐┐┐┐┐DAT

5

其第 3 行是非线性表达式, 第 4, 5 行是偏导数表达式, 第 6 行是空格, 第 7 行是输出、输入文件名, 第 8 行是输出特征.

数据长度, 初始参数值和要求精度通过人机交互过程输入给可调量, 最后得到打印结果是:

$y = 2.066 * UA * UVR * PK * \exp(-PE/(1.987 * UT)) * UCA$

Where

PK = .7194780E + 11

PE = .1915693E + 05

iterative number : 21

J = .6449189E + 03

例 2 利用生物医学子包的三条命令: 自相关函数计算 AC, 波形分析 WP 和聚类分析 CL 完成 EEG (脑电波) 模式分类. CSCAD 启动以后, 采用键盘模式.

WORK MODE? (K/F): K

K. BIOSSP (调用子包的先导命令)

K. BM (生物医学命令名)

** AC (自相关计算子命令名)

** 700 44 11

**

** 0.003125

** ARR┐┐┐┐┐DAT EEG00010DAT

** 5

后 7 行为命令行组, 执行自相关命令, 执行完毕得到了输入数据的自相关函数序列并存入文件 ARR. DAT. 同时返回键盘模式. 这时可继续输入波形分析命令算出数据的特征参数.

K. BM

2 期

```

** WP
** 350
**
** 0.003125 1.0
** WPR□□□□□DAT ARR□□□□□DAT
** 5

```

执行 WP 以后, 算出自相关函数的特征参数值并存入文件 WPR、DAT, 同时返回键盘模式提示符, 可继续输入聚类分析命令

```

K. BM
** CL
** 34 1 6
**
**
** CLR□□□□□DAT WPR□□□□□DAT
** 5

```

这样就完成 EEG 模式分类的任务。

例 3 分别用不同子包的命令来完成一个任务, 从辨识子包调用命令 RP (随机数产生) 产生一组正态分布的随机数, 然后再调用生物医学子包中的分布检验命令 GU 来检验这组随机数是否可以认为是服从正态分布的。CSCAD 启动后, 选择键盘模式

```

K. IDENSP (先导命令)
K. DP (数据处理命令)
** RP (随机数产生子命令)
** 50 3
**
** NOISR 010 DAT NOISD□□□□□DAT
** 5

```

执行这条命令的结果在文件 NOISR 010 . DAT 中存入 50 个正态分布随机数, 并返回包调度程序, 显示键盘模式提示符 K., 这时可调用其他子包的命令运行。例如调用生物医学子包的高斯分布检验命令 GU 来检验上面产生的随机数是否服从高斯分布

```

K. BIOSSP (子包先导命令)
K. BM (命令名)
** GU (子命令名)
** 10 1 1
**
**
** GUR□□□□□DAT NOISR010DAT
** 1

```

执行此命令得到结果:

THE EXPERIMENTAL FREQUENCY NUMBER OF EACH CLASS

0 3 1 7 10 17 8 1 3 0

$C = .504$ $O = 1.16$ $U = 10.66$ $UU1 = 14.067$ $UU2 = 18.475$

THE HISTOGRAM OF THIS SAMPLE IS AS FOLLOW

(图略)

1. THIS SAMPLE IS FROM GAUSS POPULATION WHEN THE CONFIDENCE LEVEL IS 0.01
2. THIS SAMPLE IS FROM GAUSS POPULATION WHEN THE CONFIDENCE LEVEL IS 0.05

从以上三个例子可以看出包应用的一般情况。由已设计好的命令可按照各种应用的目的编写各种各样的宏命令(在文件模式下运行),因此它适用面是十分宽广的。

七、结束语

本文所叙述的实现方法,特别是虚拟运算器的提出及其相应的自动编程的构成,解决了非线性表达式计算这个感到困难的问题。这套方法已在 CROMENCO 微型机上用 FORTRAN IV 语言完成了程序设计,并已投入运行。我们从这里可以受到启发,在控制系统 CAD 领域中提出的问题,应当和软件领域的工作紧密结合起来,这样,会更好地推动控制系统 CAD 的发展。

参考文献

- [1] 王治宝、卢桂章、王秀峰,控制系统 CAD 软件包的设计——CSCAD 的总体设计,控制理论与应用,1,4(1984),28—34.
- [2] 霍普克罗夫特, J. E., J. D. 厄尔曼,形式语言及其与自动机的关系,科学出版社(1979.5).
- [3] 格里斯, D., 数字计算机的编译程序构造,科学出版社(1976.10).
- [4] 赫普古德, F. R. A., 编译技术,科学出版社(1975.9).
- [5] 王治宝,控制系统 CAD 软件包的设计——LANSIP 的实现,中国系统工程学会第三届年会,武汉(1983.11),

DESIGN OF THE CONTROL SYSTEM CAD SOFTWARE PACKAGE

—REALIZATION OF CSCAD AND ITS APPLICATIONS

Wang Zhibao, Lu Guizhang and Wang Xiufeng

(Nankai University, Tianjin)

Abstract

In this paper a method for realization of the CSCAD package is discussed. The function of realization is to decode the command lines and then to call the subroutines of desired algorithms according to the names of the subcommands. The decoder and calculation of nonlinear formulas are emphasized. For this purpose a dummy arithmetic unit is formed by software and a set of dummy instructions are proposed. The programs of calculating the nonlinear formulas are formed automatically by this set of dummy instructions.

译文商榷

国内不少作者在英文稿件或英文摘要中, 常把“控制系计算机辅助设计”一词英译成“Control System Computer Aided Design”并简写成“CSCAD”。这在国际上似乎不甚流行。更常见的是“Computer Aided Design of Control Systems”。兹举例如下:

Proc. IFAC Symposium on Computer Aided Design of Control Systems, Zurich, 1979.

Cuenod; Computer Aided Design of Control Systems, IFAC Proceedings Series.

以上看法愿供参考, 如有错误欢迎指正,

(本刊编辑部)