

若干系统仿真软件比较

王 晓 霞

(计算机科学(电脑)系)

摘要 本文对 IBM ACSP (Automatic Control System Program)、ALCON (Automatic Linear Control Software)、CSP (Control System Programs) 以及 MATLAB 等自动化系统仿真软件进行分析与比较, 并指出这些软件在自动化系统设计的应用, 评述系统仿真软件的完善与发展途径。

关键词 系统仿真, 软件, 系统设计

0 概述

自动化系统设计的一个重要趋势, 就是由定性分析过渡到定量分析, 由模拟式控制过渡到数模混合控制乃至全数字式控制。传统自控系统的设计是建立在 Bode 图分析、根轨迹分析、零极点校正等方法的基础上, 在现代控制理论高度发展的今天, 传统设计方法仍然不失去应有的作用, 原因是纯数字控制系统的设计方法不很成熟, 大量的工程数字控制系统的设计基本还是沿用模拟系统的设计方法, 设计出控制器或补偿校正器, 最后将其离散转化成数字控制器或数字校正器。无论在 Bode 图上或在根轨迹上设计模拟控制系统, 首先要绘出开环系统的 Bode 图与根轨迹, 设计者必须花费大量的时间来绘制这些图形, 加上在这些图形上设计控制器或校正器需要设计者有系统的自动化专业知识, 不便于推广应用。因此系统仿真软件应有自动绘制根轨迹与 Bode 图的功能。

系统仿真软件的一个重要功能是检查系统设计的好坏, 也就是具有评定系统品质的能力, 系统的品质表现在扰动(给定值扰动与负荷扰动)的实时响应品质(如阶跃响应、脉冲响应与频率响应), 从这些响应可以定量确定诸如超调量、余差、调节时间、衰减度一类的时间响应指标与振幅裕量、相位裕量一类的频率响应指标。

为了适应数字控制技术和状态空间方法的发展, 系统仿真软件还应具有将模型离散、模拟模型与数字模型之间的转换, 连续与离散状态方程式系统的求解与响应仿真的功能。更完善的系统仿真软件还提供系统可控性与可观性分析结果。

本文1992-10-11收到。

• 本文系福建省自动化学会1992年学术年会宣读论文。

从目前系统仿真的发展趋势看,仿真软件已不局限于模仿系统的组成与观察动态响应的结果,而在原有仿真基本结构的基础上,扩充了许多功能.例如 MATH WORKS Inc. 开发的 MATLAB 软件包,具有很丰富的数学解题能力,可计算状态方程式的解;可以进行状态方程式结构模式的变换;可求系统转移矩阵和特征方程式的根;可以进行数据处理;还可以绘制二维与三维的图象,观察系统优化解很直观.

但总的来说,目前的一些系统仿真软件还存在一些明显的缺点,如 CSP 系统仿真软件仅适用于教学,另外一些仿真软件虽然以科研和工程需要开发的,但处理复杂的工程控制系统仿真问题却有明显的不足,对于多回路高阶系统,非线性、逻辑、同线性信号叠加系统,尤其是解耦控制系统的仿真就显得使用不方便.本文希望通过这几种系统仿真软件的分析与比较,能为我国自行开发出更先进与实用的系统仿真包提供参考.

1 从 CSP 到386-MATLAB

CSP 是美国 Math 软件公司为 IBM 计算机公司开发的一种较原始的系统仿真软件,可装在一个内存为360k 的普通软盘内,仿真内容限于图1所示的三种单回路控制系统结构,使用者无须任何编程知识,在一般 COS 状态下,将 CSP 软盘置于 A 驱动器,键入

A>CSP<CR>

就会出现一个主菜单供使用者按需选择:

- 1. Enter the plant model
- 2. Calculate the frequency response, and design
- 3. Run a simulation
- 4. Calculate the root locus, and design
- 5. Design by analog modern control algorithms
- 6. Design by digital modern control algorithms
- 7. Plots data files
- 8. Perform system identification

主菜单说明 CSP 的能力,其中辨识的结果给出的是 z 变换传递函数 $G(z)$. 现代控制算法给出

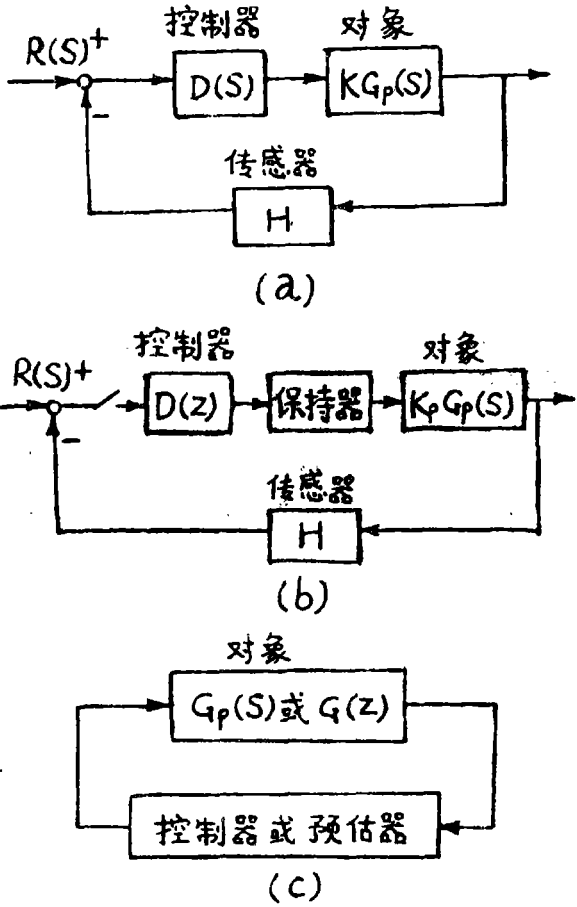


图1 三种单回路系统的结构方框图

的设计,其预估器可以是状态观测器也可以是卡尔曼滤波器,设计可在极点配置与线性二次最优之间选择一种.主菜单上的各项均附有一个子菜单,表明设计者的要求和有关参数选择.

CSP 功能虽然比较完善,但对象模型的阶次最高只能三阶,而且结构还是单回路的,因此用于教学可以,用于科研却用途不大. MATLAB 为克服这个问题,提供了一系列的辅助计算的子程序,使用者可选择使用把复杂的系统转化(或简化)成图1的结构形式.但这也是 MATLAB 的缺点,因为使用者必须熟悉系统设计的理论和全过程,否则复杂系统的仿真难于进行下去.

MATLAB 的最大优点是数字信号的处理能力强,这是目前一些系统仿真软件很少具备的.假如求信号的频率组成, MATLAB 是用专用子程序 $x = \text{fft}(x)$ 求 x 的离散傅里叶变换,用 $P_{xx} = X \cdot \text{Conj}(x) / N \Delta 2$ 求 x 的功率谱密度,用 $P_{xy} = Y \cdot \text{Conj}(x) / N \Delta 2$ 求互谱密度.被控制对象的传递函数 $K(s)$ 或频率特性 $K(j\omega)$ 可由功率谱密度函数确定.已知对象频率特性 $K(j\omega)$ 与对象单位脉冲响应函数 $K(\lambda)$ 有如下关系:

$$k(j\omega) = \int_0^{\infty} K(\lambda) e^{-j\omega\lambda} d\lambda,$$

且 $K(\lambda)$ 与对象的输入自相关函数 $R_{xx}(\lambda_1 - \lambda)$ 及输出与输入的互相关函数 $R_{xy}(\lambda_1)$ 有如下关系

$$R_{xy}(\lambda_1) = \int_0^{\infty} K(\lambda) R_{xx}(\lambda_1 - \lambda) d\lambda,$$

经过适当的变换可得

$$K(j\omega) = P_{xy} \cdot / P_{xx},$$

因此,可用 $P_{xy} \cdot / P_{xx}$ 求传递函数.对一个连续的随机过程信号或序列信号,可用上述几个有关的子程序求出传递函数或谱密度.同时, MATLAB 还提供有噪声随机信号源,用以模拟被仿真的信号, $r * \text{rand}(t)$ 表示标准方差为 r 的零均值白噪声(高斯噪声).

上述几个有关的子程序对系统的建模或随机过程仿真也很有用,如求某一些随机过程的峰值频率与功率谱密度,假设该过程是由确定性信号 x 与随机信号 η 两部分组成

$$\begin{aligned} Y &= x + \eta, \\ x &= \sin(2 * \text{Pi} * 50 * t) \\ &\quad + \sin(2 * \text{Pi} * 120 * t), \\ \eta &= 2 * \text{rand}(t) \end{aligned}$$

选择采样速率 1000 Hz, 步长 1 ms 的情况下运行,时间 t 的区间取 $0 \leq t \leq 0.5$ s, 利用绘图子程序 $\text{Plot}(y(1:50))$, 可以绘出前面 50 个数据点,如图 2 所示.采用如下程序: $Y = \text{fft}(Y)$

```

Pyy = Y * conj(Y)
f = 1000 * (0:255) / 512
plot(f, Pyy(1:256))

```

则可绘出图 3 所示的功率谱密度函数,共包括 512 个数据点,因为数据对称关系,实际上只需 256 个点.由图 3 看出峰值频率为 50 Hz 与 120 Hz,这和原来的信号源假设是一致的.

2 ALCON 是线性系统辅助设计的有用软件

ALCON 也是一种选择菜单方式的系统辅助设计应用软件,可按传统的方框图结构输入问题,每个方框依顺序编号,并输入特性方程式(多项式、分式、或二者的组合).设计者在 Bode 图、根轨迹法、Nyquist 图之中任选一种方法,由人工判断给出控制器函数,并输入 ALCON 的运算程序,由实时响应程序求出(显示或打印)响应曲线.设计过程如下:

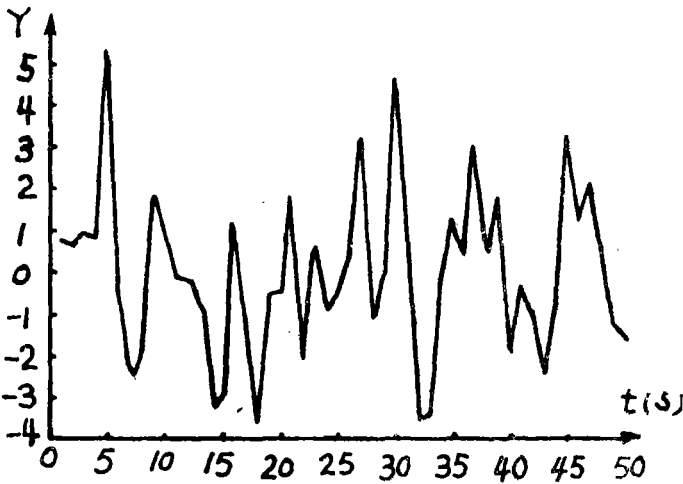
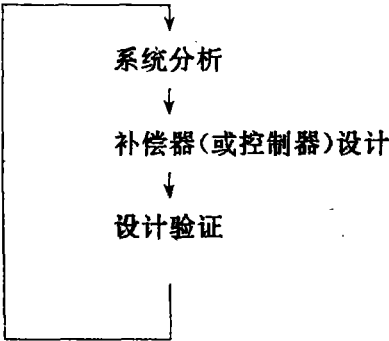


图2 随机过程曲线



最后两步是反复进行的,直到得到满意的结果为止.系统基本结构也是单回路的,这一点与 CSP 软件类似,不同的是各个方框的函数可以达到较高的阶次,ALCON 的方框函数可以是若干个最高阶次为3阶的基本函数的乘积,因而 ALCON 比 CSP 更实用.

ALCON 软件的另一个优点,是对已有的仿真系统添加一个新的方框或者删去一个旧的方框都很方便.

- ALCON 包括如下文件:
- ALCON.EXE main program file
 - ALCON.OVL main program overlay file
 - ERROR.MSG graphics system error messages

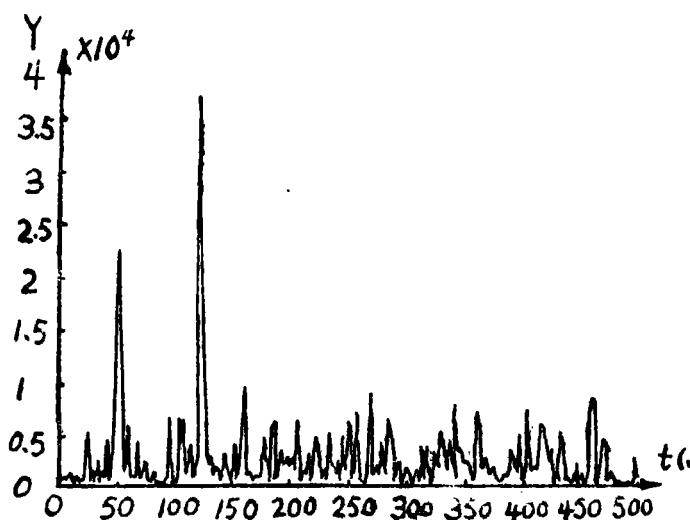


图3 功率谱密度曲线

SCREENS. PCS ALCON data input screen images

PDOWN. PCs ALCON help screen images

4 × 6 FON ALCON small graphics lettering font

8 × 8 FON ALCON large graphics lettering font

除了上述文件外,ALCON 还有许多菜单式的子程序,包括 INPUT;Change;Graph;Analyze;Quit 等。

运用上述这些文件,可对系统进行分析。如图4所示的系统,分析过程如下:装入并启动 ALCON,假如按主菜单的输入形式中选择键盘输入,则对于方框#1,屏幕显示与逐条选择回答的过程如下:

```

BLOCK #1
How will this Block be Entered?KEYBOARD
Which Path is the current Block in?FORWARD
What is the ORDER of the NUMERATOR?0
What is the ORDER of the DENOMINATOR?2
What is the BLOCK GAIN constant?1.000E2
What FORM of ENTRY will you use?FACTORED
  
```

对于方框#2,屏幕显示与逐条选择回答的过程如下:

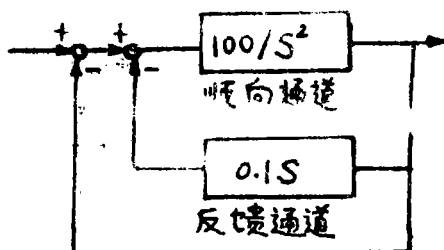


图4 一个简单的系统

BLOCK # 2

How will this Block be Entered? KEYBOARD
 Which Path is the current Block in? FEEDBACK
 Is the Loop Feedback + or -? NEGATIVE
 What is the ORDER of the NUMERATOR? 1
 What is the ORDER of the DENOMINATOR? 0
 What is the BLOCK GAIN constant? $10.000E-2$
 What FORM of ENTRY will you use? POLYNOMIAL

系统问题输入以后,就可进行系统的分析工作,即在 *Analyze* 子菜单上,若选择 *Closed Loop Roots*,并按下 SHIFT 或 PRINT SCREEN,则屏幕显示或打印机打印可自动输出内回路的两个根: $s_1=0, s_2=-0.1$,这个内回路又可作一个开环对象对待,假如要观察时间响应,则可用时间响应绘图子程序:

TIME RESPONSE PLOTTING ROUTINE

What type of INPUT will the system have? STEP
 INPUT AMPLITUDE? 1.000
 OPEN or CLOSED LOOP simulation? CLOSED
 How many SECONDS of simulation time? 1.000

则可得到图5所示的时间响应曲线.

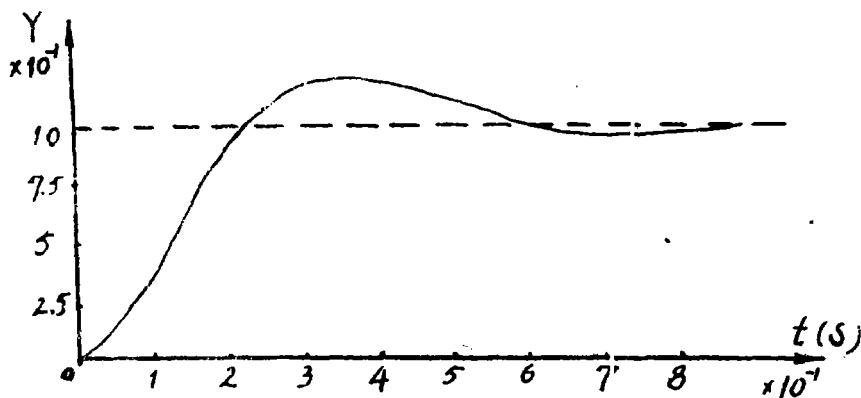


图5 闭环系统时间区间响应

ALCON 软件的缺点也很明显,在处理多回路控制系统时需要人工干预,而且没有提供状态反馈控制的现代控制理论设计的内容.

3 ACSP 适用于数字采样控制系统

同 ALCON 比较, ACSP 软件增加了与状态方程式联系的部分的内容. 一个传递函数 $G(s)$ 可利用 ACSP 转换成状态方程式与输出方程式这种现代的对象特性描述方法.

状态方程式

$$dx(t)/dt = A \cdot x(t) + B \cdot u(t),$$

输出方程式

$$C(t) = D \cdot x(t),$$

除了有关的模型转换子程序外, 还有可控性分析子程序, 可观测性分析子程序, 及阶跃输入实时响应子程序和有关状态反馈极点配置子程序. 如上述的状态方程式与输出方程式, 已知

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -3 & -4 & -5 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, D = [1 \quad 1 \quad 0]$$

求系统的闭环响应过程.

利用 ACSP, 在 DOS 状态下, 键入

A) LINSYS (CR)

并输入原始数据

Enter order of the matrix A: 3 (CR)

Row1: (CR) 1 (CR) 1 (CR)

Row2: -1 (CR) (CR) 1 (CR)

Row3: -3 (CR) -4 (CR) -5 (CR)

Change A matrix data? (Y or N) (CR)

Enter the number of columns of the B matrix: 1 (CR)

Row1: (CR)

Row2: (CR)

Row3: 1 (CR)

Change B matrix data? (Y or N) (CR)

因为状态反馈与 D 无关, 所以接着应输入状态反馈控制矩阵, 即:

$$u(t) = r(t) - Gx(t)$$

$$\text{而 } G = [g1, g2, g3]$$

反馈增益是在输入了一阶及二阶因子系数后获得的:

THE FEEDBACK GAINS, FROM g1 to g3:

-2.0000E+00 -2.0000E+00 -2.0000E+00

CHECK POINT:

(1) System time response

(2) Return to main menu

(3)Redesign

(4)Exit

Select (1),(2),(3) or (4) $\diamond 1 \langle CR \rangle$

Enter initial values for the state variables $\langle CR \rangle$

Initial state $x_1(0)=0 \langle CR \rangle$

Initial state $x_2(0)=0 \langle CR \rangle$

Initial state $x_3(0)=0$

Enter value of input U of $u(t)$; $\diamond 1 \langle CR \rangle$

Select Integration Interval; $\diamond 0.005(s)$

得到图6所示的响应曲线. ACSP 还有 INVZ 专用子程序可以专门计算 Z 变换传递函数的时间响应.

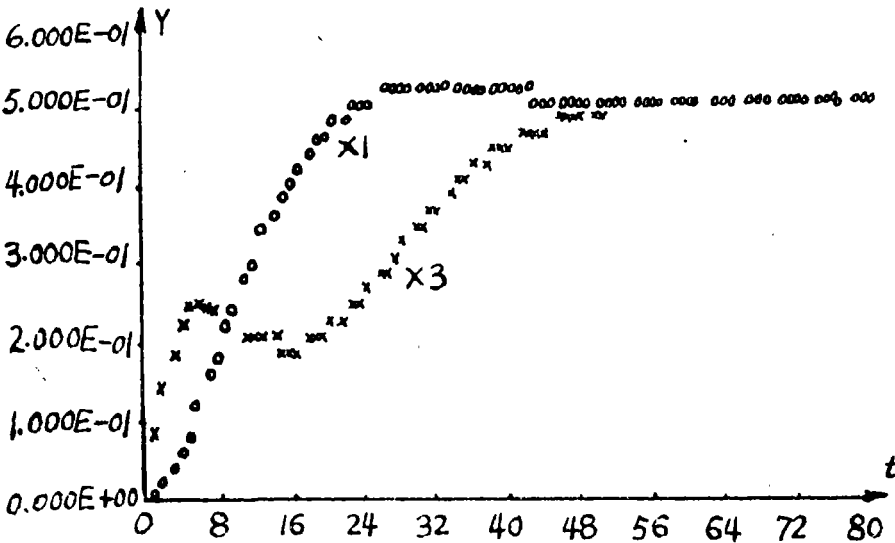


图6 状态方程仿真时间响应

ACSP 同其它几个仿真软件一样,复杂系统的设计必须借助于设计人员的帮助.

参 考 文 献

- [1] Phillips, C. L. and Oranc, B. T., *Software Manual to Accompany Feedback Control System and Digital Control system Analysis and Design*, Prentice Hall, (1989).
- [2] Thompson, P. M., *Program CC User's Guide*, CA. Systems Technolgy, (1985).
- [3] Phillips, C. L. and Harbor, R. D., *Feedback control System*, Prentice Hall, (1988).
- [4] John, Z. and Cleve, M. The Mathworks Inc., (1991).
- [5] IBM Inc., *5 1/4" IBM ACSP Software and Manual*, Prentice Hall, (1990).

A Comparison between Several Softwares of System Simulation

Wang Xiaoxia

(Department of Computer Science)

Abstract In this paper, the author makes analysis and comparison of several softwares of system simulation including ACSP (automatic control system program), ALCON (automatic linear control software), CSP (control system programs) and MATLAB; and points out their application to the design of automatic systems; and comments on the way of their perfection and development.

Key words system simulation, softwares, system design