

文章编号: 0529-6579(2000)01-0036-04

基于 MATLAB 语言的数字控制系统组合简化^{*}

吕志民, 罗 勇

(中山大学无线电电子学系, 广州 510275)

摘 要: 针对复杂数字控制系统组合简化过程, 使用传统的图解法或信号流图法要遵循多种简化规则 and 进行大量的数学运算, 提出基于 MATLAB 语言的 CACSD, 直接确定离散广义被控对象的数学模型, 组合简化过程自动完成. 仿真研究证实此方法的正确性.

关键词: MATLAB 语言; 数字控制; 组合; 简化

中图分类号: TP217. 82; TP273. 3 **文献标识码:** A

数字控制系统一般含有连续和离散的数学模型, 模型可用频域、时域或模域等方式表示. 任意线性环节组合而成的复杂系统, 先要确定离散广义对象, 再使用传统图解法化简. Katsuhik 认为这是一个繁杂的过程^[1]; Mason 提出信号流图法, 系统传递函数可用增益公式表示, 但要计算系统特征式, 计算多条前向通道增益及其特征式余因子, 计算量依然很大^[2].

本文提出借助 MATLAB 语言的 CACSD^[3], 将离散广义对象建模和系统组合简化实现自动化, 仿真研究证实此方法的有效性和正确性.

1 离散广义被控对象建模及系统组合简化推导

被控对象多为连续环节, 求出其离散状态空间表达式, 即为带零阶保持器连续对象离散化描述^[1]. 使用 MATLAB 系统转换命令^[4]

$$[A_d, B_d, C_d, D_d] = c2dm(F, G, H, J, T_s, 'method') \quad (1)$$

可得离散状态空间表达式系数矩阵 A_d, B_d, C_d, D_d .

式中, F, G, H, J 为连续状态空间表达式系数矩阵, T_s 为采样时间, method 为离散化方法, 包括零阶保持器(ZOH)法、一阶保持器(FOH)法、Tustin 法、预扭曲(Prewarp)法和零极点匹配(Matched)法.

对于 SISO 系统, 若被控对象以传递函数方式给定

$$G(s) = NUM(s) / DEN(s) \quad (2)$$

使用域转换命令

$$[F, G, H, J] = tf2ss(NUM, DEN) \quad (3)$$

可得状态空间表达式系数矩阵 F, G, H, J . 式中, NUM、DEN 分别为 $G(s)$ 分子

^{*} 收稿日期: 1999-05-25 作者简介: 吕志民(1946 ~), 男, 副教授.

与分母 S 多项式降幂系数向量.

对有 m 个线性离散环节组成的数字控制系统, 各环节状态空间表达式为

$$\begin{cases} x_i(k+1) = A_i x_i(k) + B_i u_i(k) \\ y_i(k) = C_i x_i(k) + D_i u_i(k) \end{cases} \quad i=1, 2, 3, \dots, m \quad (4)$$

其中, x_i 为 n_i 维状态向量. 设组合后系统状态向量为

$$x(k) = [x_1(k), x_2(k) \dots x_m(k)]^T \quad (5)$$

各环节独立情况下, 系统状态空间表达式为

$$\begin{cases} x(k+1) = \bar{A}x(k) + \bar{B}u(k) \\ y(k) = \bar{C}x(k) + \bar{D}u(k) \end{cases} \quad (6)$$

其中, $\bar{A} = \begin{bmatrix} A_1 & & 0 \\ & \ddots & \\ & & A_i & \\ & & & \ddots \\ 0 & & & & A_m \end{bmatrix}$, $\bar{B} = \begin{bmatrix} B_1 & & 0 \\ & \ddots & \\ & & B_i & \\ & & & \ddots \\ 0 & & & & B_m \end{bmatrix}$, $\bar{C} = \begin{bmatrix} C_1 & & 0 \\ & \ddots & \\ & & C_i & \\ & & & \ddots \\ 0 & & & & C_m \end{bmatrix}$,

$$\bar{D} = \begin{bmatrix} D_1 & & 0 \\ & \ddots & \\ & & D_i & \\ & & & \ddots \\ 0 & & & & D_m \end{bmatrix}$$

实际应用各环节多为 SISO, 因此控制量 $u(k)$ 和输出 $y(k)$ 为

$$\begin{cases} u(k) = [u_1(k), u_2(k) \dots u_m(k)]^T \\ y(k) = [y_1(k), y_2(k) \dots y_m(k)]^T \end{cases} \quad (7)$$

环节互联时, 输入来自外部信号 $r(k)$ 和内部其它环节的输出 $y(k)$, 系统组合后的输入信号为

$$u(k) = Pr(k) + Qy(k) \quad (8)$$

式中, r 为 nr 维输入向量, $P(m \times nr)$ 为输入矩阵, $Q(m \times m)$ 为联接矩阵, 它们可根据系统互联情况直接建立.

将 (8) 式代入 (6) 式得

$$\begin{cases} x(k+1) = \bar{A}x(k) + \bar{B}Pr(k) + \bar{B}Qy(k) \\ y(k) = \bar{C}x(k) + \bar{D}Pr(k) + \bar{D}Qy(k) \end{cases} \quad (9)$$

设组合后系统标准状态空间表达式为

$$\begin{cases} x(k+1) = Ax(k) + Br(k) \\ y(k) = Cx(k) + Dr(k) \end{cases} \quad (10)$$

和 (9) 式比较可得

$$\begin{cases} A = \bar{A} + \bar{B}Q(I - \bar{D}Q)^{-1}\bar{C} \\ B = \bar{B}P + \bar{B}Q(I - \bar{D}Q)^{-1}\bar{D}P \\ C = (I - \bar{D}Q)^{-1}\bar{C} \\ D = (I - \bar{D}Q)^{-1}\bar{D}P \end{cases} \quad (11)$$

各矩阵维数为: $A(n \times n)$, $B(n \times nr)$, $C(m \times n)$, $D(m \times nr)$, 调用 MATLAB

矩阵运算命令, A 、 B 、 C 、 D 能唯一确定.

2 系统自动组合简化过程

选含有前馈与反馈数字控制系统为例 (图 1). 更复杂的系统, 原理一样.

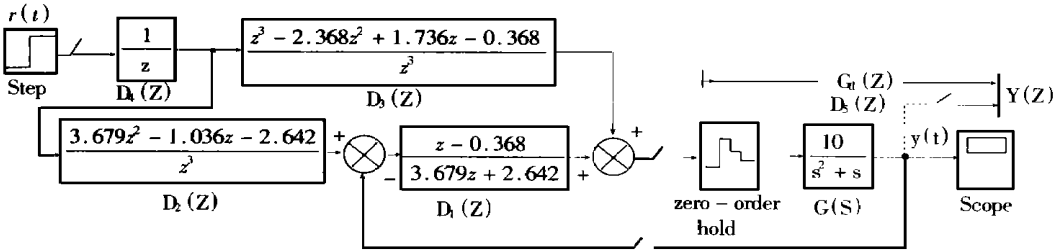


图 1 含有前馈与反馈的数字控制系统

Fig.1 The digital control system containing feed forward and feedback

步骤 1 离散广义对象建模. 使用 (1) 式后, 再用域转换命令

[NUM5, DEN5] = ss2tf (A_d, B_d, C_d, D_d) (12)

对 $T_s=1$, 广义对象 Z 传递函数为

$G_d(z) = \frac{3.679z + 2.642}{z^2 - 1.368z + 0.368}$ (13)

步骤 2 用各环节 Z 传递函数或状态空间表达式建立输入文件. 图 1 互联环节数为:

nblocks= 5, Z 传递函数分子、分母降幂多项式系数向量分别为

NUM1= [1, -0.368], DEN1= [3.679, 2.642];
NUM2= [3.679, -1.036, -2.642], DEN2= [1, 0, 0, 0];
.....

NUM5= [3.679, 2.642], DEN5= [1, -1.368, 0.368] .

使用 blkbuild 命令对输入文件进行检验, 组合成大矩阵, 其系数为 A 、 B 、 C 、 D .

步骤 3 建立联接矩阵 Q . 按互联关系, 直接写出 Q 为

$Q = \begin{bmatrix} 1 & 2 & -5 \\ 2 & 4 & 0 \\ 3 & 4 & 0 \\ 4 & 0 & 0 \\ 5 & 1 & 3 \end{bmatrix}$ (14)

步骤 4 确定输入、输出向量.

inputs= [4], outputs= [5] (15)

步骤 5 执行组合命令

[A_m, B_m, C_m, D_m] = connect (A, B, C, D, Q, inputs, outputs) (16)

其中, A_m , B_m , C_m , D_m 为系统组合后状态空间表达式系数矩阵. 使用类似 (12) 式域转换命令, 经简化后系统 Z 传递函数为

$G(z) = \frac{3.796z^4 + 0.250z^3 - 3.967z^2 - 0.652z + 0.697}{z^6 + 0.350z^5 - 0.264z^4}$ (17)

3 系统仿真与结果比较

使用 Simulink 工具箱对图 1 进行仿真, 系统输出响应如图 2, 使用 dstep 命令, 求得组合后系统对阶跃输入响应如图 3 所示.

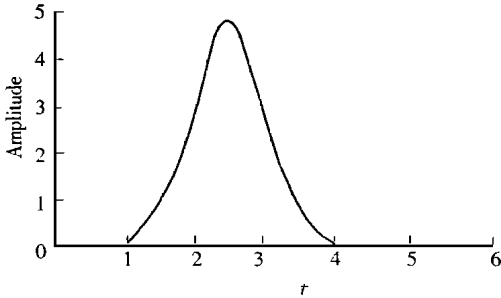


图 2 系统仿真输出曲线

Fig.2 The output curve of system simulator

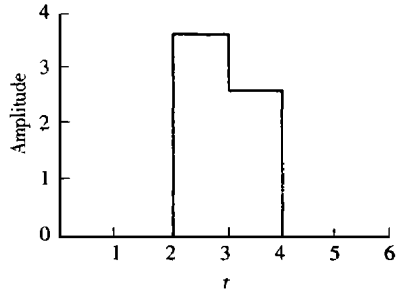


图 3 组合后系统阶跃响应

Fig.3 The step response after system composition

比较两图, 采样点上输出幅值完全相同. 图 1 是有振荡、有限拍系统, 两图曲线形状不一样, 是采样点间纹波所致. 理论计算系统离散输出为

$$y(0) = 0, y(1) = 0, y(2) = 3.680, y(3) = 2.642, y(4) = 0 \dots\dots$$

结果与两图一致.

参考文献:

- [1] KATSUHIKO O. Modern control engineering[M]. NJ: Englewood Cliffs, Prentice-Hall Inc, 1970
- [2] MASON S J. Feedback theory: some properties of signal flow graphs[J]. Proc IRE, 1956, 44(3): 920~926.
- [3] IEEE Trans. Special issue on computer aided control system design[J]. IEEE Trans Magazine, 1995, 37(3).
- [4] Hanselman Littlefield. Mastering matlab 5: a comprehensive tutorial and reference[M]. USA: Prentice Hall, 1998

The Composition and Simplification of Digital Control System Based on MATLAB Language

LÜ Zhi-min^{*}, LUO Yong

Abstract: The computer aided control system design based on MATLAB language is presented. The mathematical model of discrete generalized controlled object is determined. The process of composition and simplification is shown to be accomplished automatically.

Keywords: MATLAB language; digital control; composition; simplification

^{*} Department of Radio and Electronics, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China.