

DEP89-3动态解耦软件包的开发

王 晓 霞

[计算机科学(电脑)系]

摘要 DEP89-3 软件包是多变量自动化系统辅助设计的一种有效工具, 藉此可以将一个耦合系统按本文规定的输入格式, 键入有关原模型数据. 本软件包可以给出一种弱化系统耦合度的解耦网络, 本软件包经过实际系统使用证明是很有效的.

关键词 解耦, 网络, 计算机辅助设计, 软件包

1 问题的提出

一个复杂的多变量耦合系统要设计一个解耦网络, 插入在控制器矩阵网络与对象执行器输入向量之间, 实现系统的无耦合或弱耦合控制. 但是设计一个动态解耦网络, 需要进行大量的计算, 包括模型换算、动态矩阵求逆、模型简化、规范化排列等一系列复杂运算, 因此开发一个相应的软件包, 对工程应用十分必要. 本研究为“七·五”国家攻关项目“75—53—06”解耦系统提供一种专用的计算机辅助设计工具.

一个复杂的多变量 $n \times n$ 维系统对象特性记为

$$G(s) = \begin{bmatrix} g_{11}(s) & g_{12}(s) & \cdots & g_{1n}(s) \\ g_{21}(s) & g_{22}(s) & \cdots & g_{2n}(s) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{n1}(s) & g_{n2}(s) & \cdots & g_{nn}(s) \end{bmatrix},$$

其中每一个元素 $g_{ij}(s)$, $i, j = 1, 2, \dots, n$ 均为一个拉普拉斯算子 “ s ” 的多项分式, 即

$$g_{ij}(s) = \frac{a_{i,j1} + a_{i,j2}s + \cdots + a_{i,jm}s^{m-1}}{b_{i,j1} + b_{i,j2}s + \cdots + b_{i,jp}s^{p-1}}.$$

本软件包的理论依据是上式模型简化后的一个规范的模型

$$g_{ij}(s) = \frac{B_{i,j1} + B_{i,j2}s + B_{i,j3}s^2}{A_{i,j1} + A_{i,j2}s + A_{i,j3}s^2} \cdot R_{ij},$$

其中 R_{ij} 只取两种数值

$$R_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{表示 } g_{ij}(s) = 0, \\ 1 & \text{表示 } g_{ij}(s) \neq 0, \end{cases}$$

加入解耦网络包括两个子网络 $Q1$ 与 $P1$ 分别表示为

本文1990-02-12收到.

$$Q_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 & q_{1k}(s) & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & \cdots & 0 & q_{2k}(s) & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1 & q_{k-1,k}(s) & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & q_{k+1,k}(s) & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & q_{n,k}(s) & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

$$P_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & \cdots & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1 & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ p_{k+1}(s) & p_{k+2}(s) & \cdots & p_{k,k-1}(s) & 1 & p_{k,k+1}(s) & \cdots & p_{k,n}(s) \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

$G_{(s)} \cdot Q_1 \cdot P_1$, 就能达到抽去最大耦合度支路的目的, 假设第 k 支路为最大耦合度支路, 则应抽去 $G(s)$ 的第 k 行、第 k 列。

$$G_{-1}(s) = G(s)Q_1 \cdot P_1 = \begin{bmatrix} g_{11}(s) & g_{12}(s) & \cdots & g_{1,k-1}(s) & 0 & g_{1,k+1}(s) & \cdots & g_{1n}(s) \\ g_{21}(s) & g_{22}(s) & \cdots & g_{2,k-1}(s) & 0 & g_{2,k+1}(s) & \cdots & g_{2n}(s) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{k-1,1}(s) & g_{k-1,2}(s) & \cdots & g_{k-1,k-1}(s) & g_{k-1,k}(s) & g_{k-1,k+1}(s) & \cdots & g_{k-1,n}(s) \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & G_{kk} & 0 & \cdots & 0 \\ g_{k+1,1}(s) & g_{k+1,2}(s) & \cdots & g_{k+1,k-1}(s) & 0 & g_{k+1,k+1}(s) & \cdots & g_{k+1,n}(s) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{n1}(s) & g_{n2}(s) & \cdots & g_{n,k-1}(s) & 0 & g_{n,k+1}(s) & \cdots & g_{n,n}(s) \end{bmatrix}$$

设

$$\hat{Q}_1 = \begin{bmatrix} q_{1k}(s) \\ q_{2k}(s) \\ \vdots \\ q_{k-1,k}(s) \\ q_{k+1,k}(s) \\ \vdots \\ q_{n,k}(s) \end{bmatrix}, \quad \hat{P}_1 = [p_{k1}(s) \ p_{k2}(s) \ \cdots \ p_{k,k-1}(s) \ p_{k,k+1}(s) \ \cdots \ p_{k,n}(s)]$$

知道了 \hat{Q}_1 与 \hat{P}_1 便可很方便地排出 Q_1 和 P_1 , 本软件包的最终结果就是求出 \hat{Q}_1 和 \hat{P}_1 , 为简化问题, 将这两矩阵提取公分母, $\hat{Q}_1 = D_1(s)/C_1(s)$, $\hat{P}_1(s) = E_1(s)/F_1(s)$, D_1 、 E_1 是 \hat{Q}_1 、 \hat{P}_1

的分子矩阵, C_1 、 F_1 为多项式。

按如下步骤求 \hat{Q}_1 与 \hat{P}_1 :

$$\hat{Q}_1 = -\hat{G}_{-1}^{-1}(s) \cdot \begin{bmatrix} g_{1k}(s) \\ g_{2k}(s) \\ \vdots \\ g_{k-1,k}(s) \\ g_{k+1,k}(s) \\ \vdots \\ g_{n,k}(s) \end{bmatrix},$$

$$\hat{G}_{kk}(s) = \sum_{i=1}^n g_{ki} \cdot q_{ik} \quad (\text{其中 } q_{kk} = 1),$$

$$p_{ki}(s) = -g_{ki}(s)/\hat{G}_{kk}(s) \quad (i = 1, 2, \dots, k-1, k+1, \dots, n),$$

$$\hat{P}_1 = [p_{k1} \ p_{k2} \ \dots \ p_{k,k-1} \ p_{k,k+1} \ \dots \ p_{kn}].$$

程序设计就是保证上述原理的正确实现。

2 DEP89-3程序的设计

为了便于使用本软件包, 规定了输入与输出的数据格式。现对 DEP89-3 设计要点作如下说明:

输入 $G(s)$ 各元素 $g_{ij}(s)$ 的系数, 因为是动态系数, 因此要存入三维数值 $A(n, n, 3)$ 及 $B(n, n, 3)$ 中, 还要输入判别元素是否存在的 $K(n, n)$ 。输入各元素后, 即按

$$\lim_{s \rightarrow 0} \left(\sum_{j=1}^n \frac{g_{ji}(s) \cdot s_{ij}(s)}{g_{jj}(s)} \right) / \lim_{s \rightarrow 0} g_{ii}(s)$$

求各支路的耦合度, 放在数组 EPSR(n) 中, 并找出最大耦合度第 k 支路, 划去掉 k 列, 排出 $G_{-1}(s)$, 这部分工作由子程 a_{16} 作。

然后着手求抽去第 k 支路的解耦网络 Q_1 与 P_1 的 \hat{Q}_1 与 \hat{P}_1 , 按理论部分, 必须涉及一个动态求逆的问题, 为使动态求逆程序简单化, 在求 $G_{-1}^{-1}(s)$ 之前, 最好将 $G_{-1}(s)$ 分解为公分母 $QD(s)$ 和分子矩阵 $AN(s)$ 。这部分工作靠子程 a_{11} 来完成。 a_{11} 具有求一对象公分母及分子矩阵的功能, a_{11} 调用了其它几个子程序:

a_1 : 求一个动态矩阵分母多项式的实根、重根、虚根的值及个数。

a_2 : 将一数组按由小到大顺序排列, 且相同值只输出一次。

a_3 : 按一数组 $X(n)$ 由小到大将 $X(n)$ 、 $Y(n)$ 两个数组重新排列, 且相同值只输出一次。

a_4 : 将多个一次项式相乘。

a_5 : 将多个二次项式相乘。

a_7 : 将两个多次项式相乘。

对 $AN(s)$ 进行动态求逆在本设计中是由子程 a_8 来完成的。对 $G(s)$, 利用 a_{11} 提取公分母后, $G_1(s) = AN(s)/QD(s)$,

用户在使用本软件包时, 输入该数据文件名后, DEP89-3自动调用 a_{ij} 算出当时用户所用 $G(s)$ 的耦合度及弱耦合度的网络 Q_1 与 P_1 的 \hat{Q}_1 和 \hat{P}_1 .

3 程序的使用说明

用户在使用DEP89-3之前, 先要根据具体的 $G(s)$ 建立如下数据文件, 在数据文件内输入的数据如下顺序(下划线以上文字为用户要输入的数):

$G(s)$ 的维数 n , $nn \downarrow$ (注 $nn = n - 1$)

$g_{ij}(s)$ 对应的分母多项式系数:

$A_{111}, A_{112}, A_{113}, A_{121}, A_{122}, A_{123}, \dots, A_{1n1},$

$A_{1n2}, A_{1n3} \checkmark$

$A_{211}, A_{212}, A_{213}, A_{221}, A_{222}, A_{223}, \dots, A_{2n1},$

$A_{2n2}, A_{2n3} \checkmark$

\vdots

$A_{n11}, A_{n12}, A_{n13}, A_{n21}, A_{n22}, A_{n23}, \dots, A_{nn1}, A_{nn2}, A_{nn3} \checkmark$

(注意: 不能使 $A_{ij1} = 0$! 如果 $g_{ij}(s)$ 不存在, 则令 $A_{ij1} = 1, A_{ij2} = A_{ij3} = 0$)

$g_{ij}(s)$ 对应的分子多项式系数:

$B_{111}, B_{112}, B_{113}, B_{121}, B_{122}, B_{123}, \dots, B_{1n1}, B_{1n2}, B_{1n3} \checkmark$

$B_{211}, B_{212}, B_{213}, B_{221}, B_{222}, B_{223}, \dots, B_{2n1}, B_{2n2}, B_{2n3} \checkmark$

\vdots

$B_{n11}, B_{n12}, B_{n13}, B_{n21}, B_{n22}, B_{n23}, \dots, B_{nn1}, B_{nn2}, B_{nn3} \checkmark$

R_{ij} 对应的元素:

$R_{11}, R_{12}, \dots, R_{1n} \checkmark$

$R_{21}, R_{22}, \dots, R_{2n} \checkmark$

\vdots

$R_{n1}, R_{n2}, \dots, R_{nn} \checkmark$

(注: A_{ij}, B_{ij}, R_{ij} 均应输入实数的格式)

在建立了如上内容的数据文件后, 用户就可使用DEP89-3软件包了, 将含有本软件包可执行文件的软盘插入当前驱动器后键入:

DEP89-3 \downarrow

jie (无下划线为屏幕自动显示)

N \downarrow

the data file is

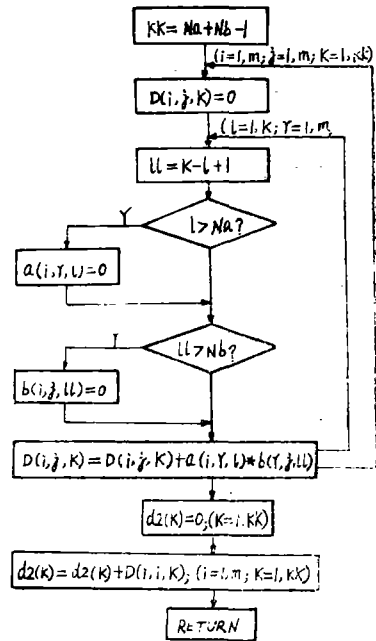


图2 DEP89-3框图

数据文件名✓

DEP89-3输出的数据格式如下:

第一条支路的耦合度 $\text{EPSR}(1) = . \times \times \times \times$

:

第 n 条支路的耦合度 $\text{EPSR}(N) = . \times \times \times \times$ 最大耦合度支路 $\text{MAX EPSR} = . \times \times \times \times$ 所在支路 IN LINEX D_1 、 C_1 、 F_1 、 E_1 的系数以上四个系数输出时格式均为(以 D_1 为例): $-. \times . \times \times \times \times \times \times D_1 ** 0$ $-. \times . \times \times \times \times \times \times D_1 ** 1$

:

 $**$ 后是0表示 s^0 , D_1 前的数值为 s^0 的系数, C_1 、 F_1 、 E_1 的格式均与 D_1 类似。

4 应用举例

本软件包经过多种例子验证, 计算结果与理论结果完全一致. 由于篇幅限制, 仅举如下
一例说明. 已知耦合特性为

$$G(s) = \begin{bmatrix} \frac{0.8}{1+s} & \frac{0.4}{1+3s+2s^2} & 0 \\ \frac{0.4}{1+3s+2s^2} & \frac{0.8}{1+s} & \frac{0.4}{1+3s+2s^2} \\ 0 & \frac{0.4}{1+3s+2s^2} & \frac{0.8}{1+s} \end{bmatrix},$$

要求决定解耦网络矩阵. 现按使用说明输入相应数据, 运行DEP89-3后, 得如下结果:

 $\text{EPSR}(1) = . 2500$ $\text{EPSR}(2) = . 5000$ $\text{EPSR}(3) = . 2500$ $\text{MAX EPSR} = . 5000 \text{ IN LINE2}$ $-. 160000 D_1 ** 0$ $-. 160000 D_1 ** 1$ $-. 160000 D_1 ** 0$ $-. 160000 D_1 ** 1$ $. 320000 C_1 ** 0$ $. 960000 C_1 ** 1$ $. 640000 C_1 ** 2$ $. 032000 F_1 ** 0$ $. 192000 F_1 ** 1$

$$\begin{aligned}
& \cdot 416000F1 * * 2 \\
& \cdot 384000F1 * * 3 \\
& \cdot 128000F1 * * 4 \\
& \cdot 032000F1 * * 0 \\
& \cdot 192000F1 * * 1 \\
& \cdot 416000F1 * * 2 \\
& \cdot 384000F1 * * 3 \\
& \cdot 128000F1 * * 4 \\
& - \cdot 032000E1 * * 0 \\
& - \cdot 384000E1 * * 1 \\
& - 1.440000E1 * * 2 \\
& - 2.368000E1 * * 3 \\
& - 1.792000E1 * * 4 \\
& - \cdot 512000E1 * * 5
\end{aligned}$$

以上输出表示 $G(s)$ 的第一条支路耦合度 = 0.25, 第二条支路耦合度 = 0.50, 第三条支路耦合度 = 0.25。最大耦合度支路是第二条, 解去该条支路的解耦网络 Q_1 与 P_1 如下:

$$Q_1 = \frac{D_1}{C_1} = \begin{bmatrix} \frac{-0.16 - 0.16s}{0.32 + 0.96s + 0.64s^2} \\ \frac{-0.16 - 0.16s}{0.32 + 0.96s + 0.64s^2} \end{bmatrix},$$

所以

$$Q_1 = \begin{bmatrix} 1 & \frac{-0.16 - 0.16s}{0.32 + 0.96s + 0.64s^2} & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & \frac{-0.16 - 0.16s}{0.32 + 0.96s + 0.64s^2} & 1 \end{bmatrix},$$

$$P_1 = \frac{F_1}{C_1} = \left[\frac{0.032 + 0.192s + 0.416s^2 + 0.384s^3 + 0.128s^4}{-0.032 - 0.384s - 1.44s^2 - 2.368s^3 - 1.792s^4 - 0.512s^5} \right. \\
\left. \frac{0.032 + 0.192s + 0.416s^2 + 0.384s^3 + 0.128s^4}{-0.032 - 0.384s - 1.44s^2 - 2.368s^3 - 1.792s^4 - 0.512s^5} \right],$$

$$P_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{0.032 + 0.192s + 0.416s^2 + 0.384s^3 + 0.128s^4}{-0.032 - 0.384s - 1.44s^2 - 2.368s^3 - 1.792s^4 - 0.512s^5} & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ \frac{0.032 + 0.192s + 0.416s^2 + 0.384s^3 + 0.128s^4}{-0.032 - 0.384s - 1.44s^2 - 2.368s^3 - 1.792s^4 - 0.512s^5} & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

5 结语

本软件包适用于 2×2 维至 6×6 维多变量对象解耦网络的计算, 在目前的诸类多变量系统辅助设计软件包中, 本软件包是最简单的, 但其功能比现有的同类软件包适用性更广, 不仅可以计算静态解耦网络参数, 还可以计算动态解耦网络参数, 使用方法简便, 可供复杂的生产过程控制系统设计时使用。国内目前普遍采用 Rosenbrock 软件包设计多变量系统, 但从本质上说, 该法仍然属于静态, 使用过程不能一次获得结果, 必须多次修改反复使用该软件包才能达到结果, 而且结果还是近似的, 不如本软件包结果明确。假如将本软件包与我们为“75-53-06”工程开发的模型简化软件包配合使用, 其优点会更加突出。

参 考 文 献

- [1] Patel, R.V., *Multivariable System Theory and Design*, Pergamon Press, (1982).
- [2] Forsythe, G.E., Malcom, M.A., *Computer Method for Mathematical Computations*, Prentice-Hall, (1977).
- [3] Brandt, S. (英悟生译), 数据分析中的统计和计算方法, 国防工业出版社, (1983).
- [4] 吴重光, 沈承林, 控制系统计算机辅助设计, 机械工业出版社, (1986).

The Development of DEP 89-3 Dynamic Decoupling Software Package

Weng Xiaoxia

(Department of Computer Science)

Abstract DEP 89-3 software package is an effective implement of multivariable automated system aided design. By which the data of a coupling system relevant to original model can be inputted according to the format predetermined in this paper. A decoupling network that weakens the coupling degree of the system can be given by DEP 89-3. This software package has been proved to be very effective in practical use.

Key words decoupling, network, computer aided design, software package