

辨识传递函数模型的应用程序 及技术问题探讨

燃气涡轮研究所 汤瑞新 李 平

我们用BASIC语言设计了根据频响数据辨识传递函数模型(以下简称模型)的应用程序。在计算机上对八个模型的频响数据进行了辨识,结果较吻合。

一、原理和误差判定准则

1. 原理

应用最小二乘原理,使试验结果 $G(j\omega_1)$ 和辨识结果 $G_a(j\omega_1)$ 的误差平方和为最小。本程序辨识出的模型的通式为:

$$G_a(s) = \frac{a_0 + a_1s + a_2s^2 + \dots + a_Ps^P}{s^F(1 + b_1s + b_2s^2 + \dots + b_Ns^N)} \cdot e^{-Ts}$$

其中 T 和 F 要用其它方法预先知道, $N \geq P$ 。

2. 误差判定准则

(1) 模型系数误差 EI 的判定准则:

$$EI = \frac{1}{2N} \sum_{I=1}^N |A^L(I, 2N+1) - A^{L-1}(I, 2N+1)|$$

式中: L ——内迭代次数;

$A(I, 2N+1)$ ——为 a_P 和 b_N 的一组辨识值。

若 $EI \leq CI$ (CI 为内迭代允差,是辨识模型系数的给定精度),表明加权系数收敛,辨识结果满足允差要求,在初定阶次 P 和 N 内迭代结束,自动转入模型阶次判定。若 $EI > CI$,自动调整加权系数后转入内循环入口,再次迭代运算,直到 $EI \leq CI$ 为止。

(2) 模型阶次误差 $E2$ 的判定准则:

$$E2 = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M |G_a(j\omega_i) - G(j\omega_i)|$$

式中: ω_i ——为选定的频率;

M ——为 ω_i 的个数。

若 $E2 \leq C2$ ($C2$ 为外迭代允差,是辨识模型阶次的给定精度),表明在给定阶次 P 和 N ,辨识结果满足允差要求,计算停止,打印结果。若 $E2 > C2$,则 P 和 N 自动加1,回到外循环入口,重新运算,直到 $E2 \leq C2$ 为止。

(3) 模型的删项准则

当模型阶次未知时,要先给P和N赋初值(一般 $N = P = 1$ 或 $N = 1, P = 0$),然后使P和N每次自动加1。这样作,有时会出现分子项阶次P高于实际阶次,为了避免这种情况,使用删项准则。首先使模型分子项各系数与CI比较,若小于CI,该项置零,然后对分子项系数从最高阶到低阶自动检测,若遇到最高阶系数为零,P自动减1,直到系数不为零为止。即:

若 $A(I, 2N+1) < CI$ ($I = N, N-1, N-2, \dots$)

则 $A(I, 2N+1) = 0$

使 $P = P - 1$

二、程序及算例

1. 程序说明

程序流程图(略)。主程序命名为TFIP,它由输入、计算增广矩阵中各元素、列主元归一化法解线性方程组 $AX = B$ 、计算模型系数误差EI和阶次误差E2、打印结果五个子程序组成。

2. 算例

(1) 给定模型

频响数据如下:

$$\frac{1}{1 + 0.5s + 0.5s^2}$$

ω_1 (弧度/秒)	R_1 (实部)	I_1 (虚部)	ω_1	R_1	I_1
0.001	1	-5.000E-04	2	-0.5	-0.5
0.005	1.0000	-2.500E-03	3	-0.2414	-0.1034
0.01	1.0000	-5.000E-03	5	-0.0830	-0.0181
0.015	1.0001	-7.501E-03	9	-0.0250	-2.847E-03
0.03	1.0002	-0.0150	10	-0.0202	-2.061E-03
0.05	1.0006	-0.0250	15	-8.928E-03	-6.006E-04
0.09	1.0020	-0.0453	20	-5.012E-03	-2.519E-04
0.1	1.0025	-0.0504	25	-3.205E-03	-1.286E-04
0.5	1.0566	-0.3019	30	-2.225E-03	-7.432E-05
0.9	1.0691	-0.8086	35	-1.634E-03	-4.676E-05

辨识出的模型

$$\frac{1.005}{1 + 0.500165s + 0.50036s^2}$$

(2) 给定模型

频响数据如下:

$$\frac{1 + 4s}{s(1 + 2s + 5s^2)} \cdot e^{-0.4s}$$

ω_1 (弧度/秒)	R_1 (实部)	I_1 (虚部)	ω_1	R_1	I_1
0.001	1.6000	-1000.01	2	-0.1565	0.1364
0.005	1.5997	-200.049	3	-0.0371	0.0824

0.01	1.5988	-100.097	5	0.0125	0.0297
0.015	1.5974	-66.8125	9	8.946E-03	-4.229E-03
0.03	1.5893	-33.6256	10	5.328E-03	-5.984E-03
0.05	1.5699	-20.4891	15	-3.406E-03	-1.028E-03
0.09	1.4975	-12.0036	20	2.762E-04	1.982E-03
0.1	1.4713	-10.996	25	1.078E-03	-6.901E-04
0.5	-3.4217	-2.6675	30	-7.478E-04	-4.808E-04
0.9	-1.1666	0.1145	35	-9.208E-05	6.466E-04

辨识出的模型

$$\frac{1 + 4.0001s}{s(1 + 2s + 5.00001s^2)} \cdot e^{-.4s}$$

三、结论及几个技术问题探讨

1. 结论

(1) 八个系统模型的辨识结果证明, 程序设计中用的判定准则是正确的, TFIP 程序是实用的, 使用很灵活, 可以很方便地用于根据试验频响数据辨识线性控制系统的传递函数模型。模型的阶次和系数均能辨识; 阶次可以是已知的, 也可以是未知的; 几种形式的频响数据均可作为输入数据用于辨识, 由用户按自己的实际情况选用。

(2) 辨识精度高。程序所用算例, 一至六阶系统 C_1 和 C_2 均小于 0.001; 七阶系统 $C_1 < 0.005$, $C_2 = 0.001$ 。

2. 几个技术问题的讨论

(1) 关于辨识精度 C_1 和 C_2 的选择问题。 C_1 的大小影响模型系数辨识的收敛速度, C_2 的大小影响模型阶次的辨识是否正确。 C_1 的选择与被辨识的模型的阶次有关, 一般低阶系统 C_1 可选小些, 高阶系统选大些。

(2) 关于加权系数 Q_1 的选择问题。在辨识精度 C_1 选定的情况下, Q_1 的选择对模型系数辨识的收敛速度有明显影响, 在模型阶次不知道的情况下尤为突出。通常加权系数初值赋给 1, 随后用固定方式调整加权系数。我们改变了这种常规的方法, 用变方式调整加权系数, 即: 在 $N \leq 3$ 时采用 $\sqrt{Q_1}$, 在 $N > 3$ 时采用 Q_1 , 效果很好, 是加快收敛速度的有效方法。例如, 在其它条件相同的情况下, 辨识一个五阶系统, 全用 Q_1 要迭代 115 次, 全用 $\sqrt{Q_1}$ 要迭代 93 次, 而采用变方式后仅迭代 24 次。

(3) 关于试验频率 ω_1 的选择问题。有的资料提出当所辨识系统的试验频率小于 0.01, 大于 10 时, 程序中要用频率比例尺。本程序所用算例频率在 0.001~100 弧度/秒, 均未采用频率比例尺, 只是八阶系统出现浮点溢出。因此, 高阶系统应采用频率比例尺。

参 考 文 献

- [1] 张巨洪等编, “BASIC语言程序”, 清华大学出版社, 1983年, 323~333页。
- [2] 绪方胜彦著, “现代控制工程”, 科学出版社, 1976年, 285~350页。
- [3] 夏天昌著, 刘绍球译, “系统辨识”, 国防工业出版社, 1984年, 1~5页, 66~70页。
- [4] R.B.Beale and N.E.Miller, “TURBINE ENGINE CONTROL SYNTHESIS”, VOLUME III, Experimental Engine Identification and Modeling, ADA 014311, March 1975, PP118~150.

(责任编辑 王庆康)

values as input data for the Jacocks' method. The comparison of the distortion prediction results with the experimental data demonstrates better agreement.

APPLIED PROGRAM OF IDENTIFYING TRANSFER FUNCTION

Tang Runxin and Li Ping
(*Gas Turbine Establishment*)

Abstract

The algorithm and the computer program TFIP used to identify the transfer function models from experimental frequency response data are presented. It is also considered how the selection of the model orders, the selections of the equation error and real error tolerance, and the modes for updating weight coefficients affect the convergent speed and identification results. The new term rejection criterion and the method for updating weight coefficients by variable mode are proposed, the former can simplify the program, and the latter may greatly accelerate the convergence of the weight coefficients.

A SCHEME OF CONDITION MONITORING AND MAIN FAULTS DIAGNOSING SYSTEM FOR A TURBOJET ENGINE

Zhou Zongcai, Li Yinghong, Wang Zengyi
(*Air Force College of Engineering*)

Abstract

In order to enhance the ability of diagnosing faults and improve maintenance, we develop a condition monitoring and main faults diagnosing system for a turbojet engine. The whole system is divided into two sub-systems: the engine operation monitoring and the ground computer data processing. The former is used for analysing engine performance tendency and diagnosing some main faults in the engine, i.e., engine-surge, exceeding drop rpm, auto-flameout and so on. In addition, it can record the parameters at take-off or before and after fault occurs. When faults take place in the engine, it can also give pilots warning. The latter is used for analysing reasons of faults and estimating engine performance tendency.

MATHEMATICAL MODELLING AND DYNAMIC ANALYSIS OF A BOOSTER STATION DRIVEN BY WZ5G AEROENGINES

Lu Zehua, Ye Bosheng, Yang Yiming
(*Tsinghua University*)

Xu Chaoqun
(*Wuxi Aeroengine Research Institute*)

Abstract