Таким образом, предложенная обобщенная диагностическая модель допускает формализованное описание искажений тестовых результатов в реальных системах.

ВЦ Минавтотранспорта Арм.ССР

5. VI. 1985

Ռ. Մ. ԹԱՃՉՅԱՆ

ԿԱՄԱՅԱԿԱՆ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՈՎ ԲԱՐԴ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ԿԱՆԽՈՐՈՇՄԱՆ ՄԻ ՀԱՐՑԻ ՄԱՍԻՆ

Ա մ փ ո փ ո ւ մ

Առաջարկվում է ընդհանրացված կանխորոշման մոդել։ Քննարկվում է տեստերի թողարկումից ստացված արդյունքների աղավաղումը կամայական կառուցվածքով համակարգերում բազմակի խափանումների առկայության դեպքում, որի համար ստացված է ֆորմալիզացիայի ալգորիթմ։

ЛИТЕРАТУРА

1. *Preparata F. P., Metz G., Chien R. T.* On the connection assignment problem of diagnosable systems. — IEEE Trans. Electron. Comput., 1967, Dec., V. EC—16, p. 848—854.
2. *Barsi F., Grandoni F., Maestrini P.* A theory of diagnosability of digital systems. — IEEE Trans. Comput., 1976, June. V. C—25, p. 585—593.
3. *Russell J. D., Kime C. R.* System fault diagnosis, Closure and diagnosability with repair. — IEEE Trans. Comput., 1975, Nov., V. C—24, p. 1078—1088.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XL, № 2, 1987

А. С. ДАНИЕЛЯН, Г. Г. АРУНЯНЦ, М. А. РАФАЕЛЯН, О. А. АРУТЮНЯН

РАСЧЕТ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И МАТРИЦ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ФУНКЦИЙ МНОГОМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ В САПР СУ

Рациональным и нередко единственно возможным способом определения частотных характеристик (ЧХ) и передаточных функций каналов воздействия при синтезе систем автоматического регулирования (САР) в условиях САПР является расчет по математическим описаниям динамики объекта. Возможны два пути получения матриц передаточных функций (МПФ) многомерных объектов: численный и аналитический. Последний способ получения МПФ объекта с сосредоточенными параметрами предполагает линеаризацию нелинейных членов математического описания и его представление в форме:

$$F(D)\,X = B(D)\,U, \tag{1}$$

где $F(D)$ и $B(D)$ — полиномиальные матрицы от $D=\frac{d}{dt}$; U, X — векторы входных и выходных переменных управляемого объекта соответственно. Для математического описания вида (1) МПФ объекта в предположении нулевых начальных условий определяется выражением

$$G(S)=F^{-1}(S)\,B(S). \tag{2}$$

При размерности системы уже более трех, использование выражения (2) вызывает вычислительные сложности.

Получение МПФ объектов с распределенными параметрами связано с большими трудностями. Основной путь решения задачи в этом случае лежит через переход от системы уравнений в частных производных к системе обыкновенных дифференциальных уравнений с переменными в операторной форме и последующим их аналитическим решением. Однако, получаемые таким путем передаточные функции оказываются сложными и имеют трансцендентный вид [1, 2].

Принципиально передаточные матрицы сложных объектов могут быть получены путем формального применения известных методов идентификации к математическим моделям. Этот способ получения МПФ характеризуется простотой реализации, однако не всегда обеспечивает удовлетворительную точность. Для повышения точности последующего синтеза САР желательно получение и аппроксимация непосредственно частотных характеристик.

Расчет матричной ЧХ многомерного объекта с сосредоточенными параметрами заключается в вычислении матричного операторного выражения (2) для заданной совокупности частот. Предлагаются алгоритмы аппроксимации частотных характеристик многомерного объекта передаточными функциями.

Корректная форма МПФ объекта с сосредоточенными параметрами предполагает равенство знаменателей всех ее элементов, представляющих собой характеристический определитель

$$\Delta(S)=\det F(S). \tag{3}$$

Учитывая (3), МПФ объекта $G(S)$ можно представить в виде:

$$G(S)=(\det F(S))^{-1}A(S), \tag{4}$$

где

$$A(S)=F_{\text{пр}}(S)\cdot B(S). \tag{5}$$

В выражении (5) через $F_{\text{пр}}(S)$ обозначена присоединенная матрица. Такое представление МПФ $G(S)$ позволяет использовать эффективную процедуру раздельной аппроксимации частотных характеристик $\Delta(i\omega)$ и элементов $A(i\omega)$ полиномиальными функциями. Обозначим через $\Psi(i\omega_k)$ значение неизвестной полиномиальной функции при $\omega=\omega_k$ $(k=\overline{1,n})$ и через

$$Z(i\omega)=\sum_{j=0}^{s}C_j(i\omega)^j \tag{6}$$

(C_j — коэффициент, n — порядок полинома) — аппроксимирующую функцию. Выберем в качестве критерия близости функций $\Psi(i\omega)$ и $Z(i\omega)$ функцию вида:

$$I = \sum_{\kappa=1}^{N} |(\Psi(i\omega_\kappa) - Z(i\omega_\kappa) / Z(i\omega_\kappa)|^2. \tag{7}$$

Сделаем обозначение $\mu_\kappa = 1/Z(i\omega_\kappa)$. После подстановок критерий (7) получает вид:

$$I = \sum_{\kappa=1}^{N} |\Psi(i\omega_\kappa) - \sum_{j=0}^{n} C_j (i\omega_\kappa)^j|^2 |\mu_\kappa|^2. \tag{8}$$

Выбирая некоторый первоначальный набор коэффициентов $C_j^{(0)}$ и считая весовые коэффициенты μ_κ постоянными, при помощи метода наименьших квадратов определение последующих приближений коэффициентов $C_j^{(l)}$ сводится к решению систем неоднородных линейных уравнений. После этого определяется новый набор коэффициентов μ_κ. Итерации повторяются до удовлетворения условия

$$|C_j^{(l)} - C_j^{(l-1)}| \leqslant \varepsilon C_j^{(l)}, \quad j = \overline{0, m}. \tag{9}$$

Эта же процедура аппроксимации используется при определении элементов матрицы $A(S)$ (числителей выражений передаточных функций).

Выбор порядков аппроксимирующих полиномов $Z(i\omega)$, равных числу квадрантов комплексной плоскости, пересекаемых годографами $\Psi(i\omega)$, позволяет восстановить аналитический вид характеристического определителя и передаточных функций объекта, что ценно с точки зрения строгости синтеза и анализа САР.

Применение метода коллокаций для расчета частотных характеристик представляется на примере объекта, описываемого системой:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = -B\frac{\partial X}{\partial z} + R(X), \quad z \in [0, 1], \tag{10}$$

при $z = 0$ $X(z, t) = X_н(t)$,
при $t = 0$ $X(z, t) = X_s(z)$,
где $X = \|x_1, x_2, \dots, x_m\|^T$; $R(X) = \|r_1(X), r_2(X), \dots, r_m(X)\|^T$; B — $(m \times m)$ положительная диагональная матрица коэффициентов; $X_н(t)$, $X_s(z)$ — соответственно начальные и граничные условия. Для любых приближенных решений системы уравнений (10) формы

$$x_i(z, t) = \sum_{j=1}^{n} a_{ij}(t)\Phi_j(z), \quad i = \overline{1, m}, \tag{11}$$

где

$$a_{i1}(t) = x_{нi}(t), \quad \Phi_1 = 1,$$

справедливы уравнения:

$$\frac{dx_i}{dz} = N_1 N_0^{-1} x_i(z), \quad i = \overline{1, m}, \tag{12}$$

в которых $x_i(z) = \| x_i(z_1), x_i(z_2), \ldots, x_i(z_n) \|^{\mathrm{T}}$; N_0, N_1 — $n \times n$ — матрицы с элементами $\Phi_j(z)$ и Φ'_{jl} соответственно (Φ_{jl} — многочлен $\Phi_j(z)$ в точке z_l); n — число точек коллокаций; $a_{jl}(t)$ — произвольные функции от t; $x_i(z_j)$ — значение переменной x_i в точке z_j.

Используя подстановку (12), получаем систему обыкновенных дифференциальных уравнений размерности $n \times m$, приближенно эквивалентной исходной (10). Переходя к приращениям $X = X - X_s$ и линеаризируя (при необходимости) нелинейные члены $R(X)$, ограничиваясь членами первого порядка разложения в ряд Тейлора, полученная система представляется в виде

$$\dot{X} = A(X), \tag{13}$$

где $X = \| x_1(z_1), x_1(z_2), \ldots, x_1(z_n), x_2(z_1), \ldots, x_2(z_n), \ldots, x_m(z_n) \|^{\mathrm{T}}$; A — блочная матрица размерности $[(n \times m) \times (n \times m)]$.

Далее, выделяя из векторов $\dot{X}$ и X компоненты, соответствующие точке z_1, преобразуем (13) к виду

$$\dot{X}^{(1)} = A^{(1)} X^{(1)} + CX^{(0)}, \tag{14}$$

где $X^{(1)} = \| x_1(z_2), x_1(z_3), \ldots, x_1(z_n), x_2(z_2), \ldots, x_m(z_n) \|^{\mathrm{T}}$;

$$X^{(0)} = \| \underbrace{x_1(z_1), x_1(z_1), \ldots, x_1(z_1)}_{n-1}, \underbrace{x_2(z_1), \ldots, x_2(z_1)}_{n-1}, \ldots \underbrace{x_m(z_1), \ldots, x_m(z_1)}_{n-1} \|^{\mathrm{T}};$$

$A^{(1)}$ — $[(n-1) \times m] \times [(n-1) \times m]$ — матрица, полученная из матрицы A исключением первых строк и столбцов ее подматриц; C — $[(n-1) \times m] \times m$ — блочно-диагональная матрица, блоки которой являются столбцевыми матрицами, составленными из соответствующих исключенных столбцов подматриц матрицы A.

Система (14) при переходе к операторной форме принимает вид:

$$(SI - A^{(1)}) X^{(1)} = CX^{(0)}, \tag{15}$$

где I — единичная матрица. Дальнейшая последовательность действий получения МПФ аналогична описанному выше случаю сосредоточенных объектов. Приведенный метод приемлем также в случаях, если система уравнений, описывающая динамику объекта, содержит в своем составе члены с производными второго порядка или интегральные члены.

Для противоточных систем алгоритм остается тем же, однако появляется необходимость в решениях типа (11) сохранять граничные условия на обоих концах. В программе аппроксимации методом ортогональных коллокаций используется многочлен Якоби, удовлетворяющий условиям ортогональности в интервале $z \in [0, 1]$. Учитывая, что обычно на практике нет необходимости в получении МПФ по всем сечениям коллокаций, в программе предусмотрена возможность вычисления МПФ относительно только выборочных сечений. Эта особенность позволяет значительно сократить затраты машинного времени.

Описанный метод расчета частотных характеристик позволяет практически без потерь в точности значительно снизить затраты машинного времени по сравнению с методом, основанным на расчете частотных характеристик по модели при стандартных возмущениях. Программы реализованы на алгоритмическом языке *PL*/1 ОС ЕС (*MVT* 6.1) и включены в комплекс программ САПР СУ.

Е/о ОНПО «Пластполимер» 20 IV 1985

Ա. Ս. ԴԱՆԻԵԼՅԱՆ, Դ. Դ. ԱՐՈՒՆՅԱՆՑ, Մ. Ա. ՌԱՖԱՅԵԼՅԱՆ, Օ. Ա. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ

ՀԱՃԱԽԱԿԱՆ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ԵՎ ԲԱԶՄԱՉԱՓ ՕԲՅԵԿՏՆԵՐԻ ՓՈԽԱՆՑՄԱՆ ՖՈՒՆԿՑԻԱՆԵՐԻ ՄԱՏՐԻՑԱՆԵՐԻ ՀԱՇՎԱՐԿԸ ԴՀ ԱՊՀ-ՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ո ւ մ

Ներկայացվում են բազմաչափային օբյեկտների մատրիցային փոխանցիկ ֆունկցիաների մաթեմատիկական նկարագրությամբ հաշվարկի արդյունավետ մեթոդներ, որոնք կարելի է կիրառել ավտոմատացված նախագծման համակարգերում։ Կենտրոնացված պարամետրերով օբյեկտների համար առաջարկված են բնութագրական որոշիչի առանձին որոշումը և օպտիմալ ֆունկցիաների մոտարկման ալգորիթմը։ Բաշխված ֆունկցիաներով մատրիցաների հաշվարկի ժամանակ իրականացվում է համապատասխան մաթեմատիկական նկարագրությունների նախնական բերումը սովորական դիֆերենցիալ հավասարումների համակարգին։

ЛИТЕРАТУРА

1. *Девятов Б. Н., Демиденко Н. Д., Охорзин В. А.* Динамика распределенных процессов в технологических аппаратах, распределенный контроль и управление.— Красноярск: Кн. изд-во, 1976.— 310 с.
2. *Бутковский А. Г.* Характеристики систем с распределенными параметрами.— М.: Наука, 1979.— 224 с.