параметров ЭФА: указывают на тип и разрядность поступающих по информационным входам аргументов ЭФА, порядок загрузки регистров МП, определяют необходимость генерации меток и команд переходов и в целом задают всю исходную информацию для генерации объектной микропрограммы.

Графовое представление алгоритмов позволило разработать ряд специальных оптимизационных процедур, решающих задачи машинно-независимой оптимизации на МГА: распределения памяти; загрузки регистров; упорядочения информационных и управляющих связей ЭФА; устранения лишних и избыточных вычислений; чистки циклов; замены сложных вычислений на простые; оптимизации арифметических выражений.

Данная методика разработана в рамках САМПР как инструментальный пакет на ЕС ЭВМ с синтезом объектных программных модулей для компонент АСНИ на базе МП К580.

Литература

1. Погребной В.К. Автоматизация проектирования систем управления. - Томск: ТПИ, 1980. - 95 с.

2. Кошовкин И.Н., Балова Т.Г. Об одной задаче оптимизации программного обеспечения иерархических систем управления, работающих в реальном времени. - В кн.: Методы и программы решения оптимизационных задач на графах и сетях. Ч. I. Алгоритмы, программы, применения. Новосибирск, 1982, с. 93-96.

УДК 62.501.72

К.Д.Колесников

АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЛИНЕЙНЫХ ОДНОМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО ПЕРЕХОДНЫМ ФУНКЦИЯМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНО-ГАРМОНИЧЕСКОЙ АППРОКСИМАЦИИ

(г. Куйбышев)

В качестве одной из задач решения автоматического управления многими авторами выдвигается задача идентификации объектов управления [2 - 7]. В.В.Солодовниковым [I]была предложена постановка задачи автоматизации идентификации с применением мини- и микроЭВМ, что закреплено в целевой программе ОЦ.026 и ОЦ.027.

Проектирование и эксплуатация оптимальных и адаптивных систем в составе АСНИ и АСУТП невозможно без знания математических моделей объекта управления. В статье предлагается метод идентификации технологических объектов с использованием пуско-остановочных режимов, который позволит идентифицировать объект на стадии пуско-остановочных операций с минимальной памятью микроЭВМ в дискретно-непрерывных производствах машиностроения, транспорта, металлургии (прокатка) теплоэнергетики, кабельной, нефтехимической и др. отраслей.

Метод использует основные свойства переходных функций линейных объектов управления:

переходная функция является экспоненциально-гармоническим рядом;

начальные условия - нулевые и, как следствие, коэффициенты ряда являются функциями полюсов и нулей передаточной функции объекта управления. В методе рассматривается три класса переходных функций: монотонные; с сильными дифференцирующими свойствами и колебательные.

Аппроксимация монотонных переходных функций биномом Ньютона

В общем случае монотонные переходные функции могут быть представлены в виде экспоненциального конечного ряда

$$h(t)=K_0\left[1+\sum_{m=1}^{n}(-1)^m\frac{\prod\limits_{K=1}^{n}\alpha_K\,EXP(-\alpha_m t)}{\alpha_m\prod\limits_{\substack{K=1\\ \alpha_m>\alpha_K}}^{m-1}|\alpha_m-\alpha_K|\prod\limits_{\substack{K=m+1\\ \alpha_m<\alpha_K}}^{n}|\alpha_m-\alpha_K|}\right], \qquad (1)$$

где n - порядок объекта, α_K - полюса передаточной функции. Если полюса α_K распределены по закону натурального ряда, то выражение (I) примет вид

$$h(t)=K_0\left[1-EXP(-\alpha t)\right]^n. \qquad (2)$$

Доказательство теоремы (2) весьма простое, если учесть, что $\alpha_K=K\alpha$ и $\prod\limits_{K=1}^{n}K=n!$, а $\prod\limits_{1}^{m-1}|m-K|=m!$ и $\prod\limits_{K=m+1}^{n}|m-K|=(n-m)!$.
Ряд (I) - знакопеременный.

Если полюса передаточной функции распределены по закону рациональных чисел матрицы

$$K = \| m_i / m_j \| ,\tag{3}$$

то переходная функция может быть представлена в виде

$$h(\theta) = K_0 (1 - Z)^n \sum_{m-0}^{\kappa - n} B_m Z^m ,\tag{4}$$

где $Z = EXP(-\theta)$, θ - относительное время, отнесенное к общему знаменателю целого числа m_j матрицы (3), κ - отношение наибольшего по модулю полюса передаточной функции к наименьшему. Если $\kappa = n$ то выражение (4) примет вид (2).

<u>Полюса распределены по закону арифметической прогрессии</u>. В этом случае ряд (I) примет вид

$$h(t) = K_0 \left[1 + \frac{1}{z^{n-1}} \sum_{m=1}^{n} (-1)^m \frac{\prod_{\kappa=1}^{h-1} (1 + \kappa z) EXP\left[-[1 + (m-1)z]\alpha t\right]}{[1 + (m-1)z](m-1)!(n-m)!} \right] .\tag{5}$$

Если z = I, то выражение (5) примет вид (2). Если $z = z_1 / z_2$, где z_1 и z_2 - целые числа, то выражение (5) примет вид

$$h[Z] = K_0 \left[1 + \frac{z_2}{z_1^{n-1}} \sum_{m=1}^{n} (-1)^m \frac{\prod_{\kappa=1}^{n} [z_2 + (\kappa - 1) z_1] Z^{[z_2 + (m-1) z_1]}}{[z_2 + (m-1) z_1](m-1)!(n-m)!} \right] ,\tag{6}$$

где $Z = EXP(-\alpha t / z_2) = EXP(-\theta)$.

Согласно теореме (4), выражение (6) может быть представлено в виде

$$h[Z] = K_0 (1 - Z)^n \sum_{m=0}^{z_2 + (n-1) z_1} B_m Z^m ,\tag{7}$$

где коэффициенты полинома (7) можно определить по рекуррентной формуле (8) до $\kappa = z_2 - 1$:

$$B_\kappa = \sum_{\ell=0}^{\kappa-1} (-1)^\ell C_n^{\ell+1} B_{\kappa-\ell-1} ,\tag{8}$$

где C_n^{i+1} - число сочетаний из n по $i+1$.

Коэффициенты с индексами $K \geqslant z_2$ можно рассчитать по рекуррентным формулам (9):

$$B z_2 + (m-1) z_1 \sum_{\ell=0}^{z_2+(m-1)z_1-1} (-1)^{\ell} C_n^{\ell+1} B z_2 - \ell - 1 + (-1)^m A_m, \qquad (9)$$

где A_m - коэффициент суммы (6) при z в степени

$z_2 + (m-1) z_1, \quad m\{1,2 \ldots, n\}$.

Анализ распределений полюсов по закону геометрической прогрессии и гармоническому закону показал, что переходные функции сходятся к биному Ньютона согласно выражению (4).

Таким образом, в качестве алгоритмического модуля идентификации монотонных одномерных линейных объектов может быть выбран бином Ньютона:

$$h_a(\theta) = K_0 \left[1 - EXP(-(\theta)\right]^n, \qquad (10)$$

где C - коэффициент, учитывающий вес полинома (4), который рассчитывается как среднеарифметическое, взятое для квантованных значений переходных функций.

Расчеты, проведенные на имитационных моделях и реальных переходных функциях для различных законов распределения полюсов передаточных функций, показали, что погрешность аппроксимации биномом (I0) не превышает 5% от установившегося значения.

Аппроксимация апериодических переходных функций с сильными дифференцирующими свойствами

Если передаточная функция кроме полюсов имеет нули, то переходная функция примет вид

$$h(t) = K_0 \left[1 + \sum_{m=1}^{n} (-1)^m \frac{\prod_{m=1}^{n} \alpha_K \prod_{\lambda=1}^{\ell} (1 - \alpha_m / \beta_\lambda) EXP(-\alpha_m t)}{\alpha_m \prod_{\substack{K=1 \\ \alpha_m > \alpha_K}}^{m-1} |\alpha_m - \alpha_K| \prod_{\substack{m+1 \\ \alpha_m < \alpha_K}}^{n} |\alpha_m - \alpha_K|} \right], \qquad (II)$$

где β_λ - нули, ℓ - порядок полинома числителя передаточной функции.

Если полюса распределены по закону натурального ряда, а ℓ = I, то функцию (II) можно записать в виде

$$h[Z]=K_0(1-Z)^n[1+(nX-1)Z], \tag{I2}$$

где $Z=EXP(-\alpha t)$, $X=\alpha/\beta$, α – минимальный по модулю полюс, β – нуль.

Анализ на экстремум выражения (I2) показал, что переброс через установившееся значение $h(\infty)=K_0$ возможен только при $X>$ I, т.е. когда нуль β будет меньше α. В этом случае

$$Z_э=(X-1)/(nX-1), \tag{I3}$$

а экстремум

$$h_э=K_0(n-1)^{n-1}X^n/(nX-1)^{n-1}. \tag{I4}$$

Таким образом, если имеется априорная информация о порядке объекта n, известно K_0, то решая сначала уравнение (I4) для известного $h_э$, можно найти X, из уравнения (I3) $Z_э=EXP(-\alpha Z_э)$ и соответственно α и β. Так, например, при $n=2$, $K_0=$ I выражение(I4) примет вид

$$1+\sigma=X^2/(2X-1), \tag{I5}$$

где σ – величина переброса за установившееся значение.
Если $\sigma=0{,}5$, то $X=2{,}366$, $Z_э=0{,}366$.

Аппроксимация колебательных переходных функций

Если среди полюсов передаточной функции имеется пара комплексных сопряженных полюсов вблизи мнимой оси, то переходная функция имеет колебательный характер и ряд (I) примет следующий вид:

$$h(t)=K_0\left[1+\sum_{m=3}^{n}(-1)^m\frac{(\alpha^2+\beta^2)\prod\limits_{k=3}^{n}\alpha_k EXP(-\alpha_m t)}{\alpha_m\left[(\alpha-\alpha_m)^2+\beta^2\right]\prod\limits_{\substack{k=3\\ \alpha_m>\alpha_k}}^{m-1}|\alpha_m-\alpha_k|\prod\limits_{\substack{m+1\\ \alpha_m<\alpha_k}}^{n}|\alpha_m-\alpha_k|}+\right.$$

$$\left.+\frac{\sqrt{\alpha^2+\beta^2}\prod\limits_{k=3}^{n}\alpha_k EXP(-\alpha t)}{\beta\sqrt{\prod\limits_{k=3}^{n}\left[(\alpha-\alpha_k)^2+\beta^2\right]}}\sin(\beta t+\varphi)\right], \tag{I6}$$

где $\varphi=arctg\,\beta/\alpha-\sum\limits_{k=3}^{n}arctg\,\beta/(\alpha-\alpha_k)$.

Для $n = 3$, $\alpha_1 = K\alpha$ и $\alpha/\beta = \lambda$ ряд (16) запишется как

$$h(\tau) = K_0\left[1 - \frac{(1+\lambda^2)EXP(-K\lambda\tau)}{1+(1-K)^2\lambda^2} + \frac{K\lambda\sqrt{1+\lambda^2}EXP(-\lambda\tau)}{\sqrt{1+(1-K)^2\lambda^2}}\sin(\tau+\varphi)\right], \qquad (17)$$

где $\tau = \beta t$, $\varphi = arctg\, 1/\lambda + arctg\, 1/((K-1)\lambda)$.

При колебательных процессах $K \gg 1$ в конце будет иметь вес вторая составляющая (17). В этом случае по соседним точкам перехода через K_0 находится β :

$$\beta t_1 + \varphi = N\pi,$$
$$\beta t_2 + \varphi = (N+1)\pi, \qquad (18)$$
$$\beta = \pi/(t_2 - t_1),$$

а для соседних экстремумов max и min находится λ для $K_0 = 1$:

$$\lambda = (t_{min} - t_{max})^{-1}\beta^{-1}\ln(h_{max} - 1)/(1 - h_{min}), \qquad (19)$$

$$\alpha = \lambda\beta. \qquad (20)$$

Для точки t_{max} $\sin(\tau_{max}+\varphi) = 1$ и поэтому она может быть использована для определения K :

$$(h_{max} - 1)EXP(\alpha t_{max}) = K\lambda\sqrt{1+\lambda^2}\Big/\sqrt{1+(1-K)^2\lambda^2} \qquad (21)$$

После определения K находится $\alpha_1 = K\alpha$.

Выводы

1. Проведенный анализ монотонных переходных функций с рациональным распределением полюсов показал, что все они сходятся к биному Ньютона с конечным весовым полиномом, и поэтому при создании алгоритмических модулей можно все монотонные функции аппроксимировать биномом Ньютона. Погрешность отклонения переходной функции от биномиальной не превышает 5%.

2. При идентификации объектов с сильно дифференцирующими свойствами можно определить нуль, влияющий на эффект дифференцирования, а затем полюса бинома.

3. При сильно колебательных переходных функциях для определения параметров объекта 3-го порядка в целях идентификации используется конец переходного процесса, по которому находятся все три полюса.

Литература

1. Солодовников В.В. О научных проблемах, связанных с разработкой и проектированием систем управления технологическими процессами.- В сб.: Опыт создания и внедрения автоматизированных систем управления технологическими процессами. Ч. I. Фрунзе, 1979, с. 10-15.
2. Техническая кибернетика. Ч. II / Под ред. В.В.Солодовникова.- М.: Машиностроение, 1967.
3. Стефани Е.П. Основы расчета настройки регуляторов теплоэнергетических процессов. - М.: Энергия, 1972.
4. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления. - М.: Мир, 1975.
5. Егоров С.В. Элементы идентификации и оптимизации управляемых систем. - М.:МЭИ, 1979.
6. Соколов Н.И. Аналитический метод синтеза линеаризированных систем автоматического регулирования. - М.: Машиностроение, 1966.
7. Гроп Д. Методы идентификации систем. - М.: Мир, 1979.

УДК 519.24

К.В.Исаев

О МЕТОДИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ АСНИ, ОРИЕНТИРОВАННЫХ НА АКТИВНУЮ ИДЕНТИФИКАЦИЮ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

(г.Ростов-на-Дону)

Широкий класс задач экспериментальных исследований может быть сформулирован в терминах задач идентификации исследуемых объектов. АСНИ, ориентированные на эти задачи, хотя и зависят в определенной мере от класса объектов, могут быть построены в то же время на единой методической основе, базирующейся на общей концепции активной идентификации.

Первым этапом формирования задачи идентификации является приведение теоретической модели (ТМ) исследуемого объекта к модели интер-