3. Кнут Д. Искусство программирования для ЭВМ. Москва,Изд-во Мир, 1976. - 732с.
4. Райзер Г. Дж. Комбинаторная математика. Москва, Изд-во Мир, 1966. - 153с.
5. Кострикин А.И. Введение в алгебру. - Москва, Изд-во Наука, 1977. - 496с.
6. Самофалов К. Г. и др. Прикладная теория цифровых автоматов. - Киев, Изд-во Высшая школа, 1987. - 375с.

Поступила в редколлегию 9 октября 1995г.

УДК 621.394

СИНТЕЗ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ПЕРЕХОДНОЙ МАТРИЦЫ СОСТОЯНИЙ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ

Володченко Г.С., проф., Новгородцев А.И., ст. преп., Полонсхий А.Д., ст. преп.

При разработке адаптивных систем управления нестационарными объектами возникает необходимость автоматического учета текущей информации о переходной матрице состояния объекта управления, т.е. учет его динамических характеристик нестационарных объектов управления в процессе их нормальной эксплуатации возможен с применением в контуре управления специализированных вычислительных машин.

Постановка задачи. Пусть нестационарный объект управления в общем случае описывается дифференциальным уравнением вида

$$a_m(t)\frac{d^m x(t)}{dt^m}+a_{m-1}(t)\frac{d^{m-1}x(t)}{dt^{m-1}}+\ldots+$$

$$+a_1(t)\frac{dx(t)}{dt}+a_o(t)x(t)=b(t)U(t), \qquad (1)$$

а $U(t)$ имеет вид ступенчатой функции.

Тогда, пользуясь методом переменных состояний при $t>0$, имеем:

$$\dot{U}=0,$$

$$\dot{x}_1=x_2,$$

$$\dot{x}_2=x_3,$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots,$$

$$\dot{x}_{m-1}=x_m,$$

$$\dot{x}_m=\frac{b(t)}{a_m(t)}U-\frac{a_{o(t)}}{a_m(t)}x_1-\ldots-\frac{a_{m-1}(t)}{a_{m(t)}}x_m, \qquad (2)$$

откуда имеем

$$V=\begin{bmatrix} U \\ x_1 \\ x_2 \\ \ldots \\ x_m \end{bmatrix} \text{ - расширенный вектор состояния;} \qquad (3)$$

$$A(t)=\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \ldots & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \ldots & 0 \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ 0 & 0 & 0 & \ldots & 1 \\ \frac{b(t)}{a_m(t)} & -\frac{a_o(t)}{a_m(t)} & -\frac{a_1(t)}{a_m(t)} & -\ldots & -\frac{a_{m-1}(t)}{a_m(t)} \end{bmatrix}$$

- расширенная переменная матрица коэффициентов.

Рассматривая решение задачи синтеза алгоритма системы оценки переходной матрицы состояния как итерационный процесс, нахождение последнего будем искать в классе стационарных систем. Предполагая квазистационарность объекта управления на интервале $nT_1 \le t \le (n+1)T_1$, где T_1 - некоторый период дискретности оценки элементов расширенной матрицы $A(t)$, переходную матрицу состояния будем искать в виде

$$\Phi(nT_1) = e^{A(nT_1)\tau} \ ,$$
$$A(nT_1) = A(0) + \sum_{n=1}^{N} \Delta A(nT_1), \qquad (5)$$
$$\tau = NT_1 ,$$

где $A(0)$ - начальное значение матрицы;

ΔA - приращение матрицы в течение интервала квазистационарности;

N - число итераций.

Матрица $A(nT_1)$ ищется в соответствии с выражением

$$A(nT_1) = \begin{bmatrix} a_{11}(0) + \sum\limits_{n=1}^{N} \Delta a_{11}(nT_1) \ldots a_{1m}(0) + \sum\limits_{n=1}^{N} \Delta a_{1m}(nT_1) \\ a_{21}(0) + \sum\limits_{n=1}^{N} \Delta a_{21}(nT_1) \ldots a_{2m}(0) + \sum\limits_{n=1}^{N} \Delta a_{2m}(nT_1) \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ a_{m1}(0) + \sum\limits_{n=1}^{N} \Delta a_{m1}(nT_1) \ldots a_{mm}(0) + \sum\limits_{n=1}^{N} \Delta a_{mm}(nT_1) \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & 0 & \ldots & 0 \\ 0 & 1 & & \ldots \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ 0 & 0 & & \\ 0 & 0 & \ldots & 1 \\ a_{m1}(nT_1) & a_{m2}(nT_1) & \ldots & a_{mm}(nT_1) \end{bmatrix},$$

переменные коэффициенты которой определяются:

$$a_{m1}(nT_1) = \frac{b(0)}{a_m(0)} + \sum_{n=1}^{N} \frac{\Delta b(nT_1)}{\Delta a_m(nT_1)};$$
$$a_{m2}(nT_1) = \frac{a_o(0)}{a_m(0)} + \sum_{n=1}^{N} \frac{\Delta a_o(nT_1)}{\Delta a_m(nT_1)}; \qquad (6)$$
$$a_{m3}(nT_1) = \frac{a_1(0)}{a_m(0)} + \sum_{n=1}^{N} \frac{\Delta a_1(nT_1)}{\Delta a_m(nT_1)};$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$a_{mm}(nT_1) = \frac{a_{m-1}(0)}{a_m(0)} + \sum_{n=1}^{N} \frac{\Delta a_{m-1}(nT_1)}{\Delta a_m(nT_1)}$$

на основе полученной информации об изменении коэффициентов объекта управления от системы параметрической идентификации, алгоритм функционирования которой дается в виде

$$\left[\frac{\partial I}{\partial a_o}\right]_{n+1} = \pm\frac{2}{T_n}\int\limits_{T_o}^{T_o+T_n}\left[Y_o - \left(\sum_{i=1}^{m} K_i y_i + \sum_{i=1}^{m} V_i K_i y_i\right)\right]_n \cdot$$
$$\cdot\left(\frac{\partial \sum\limits_{i=1}^{m} K_i y_i}{\partial a_o} + \frac{\partial \sum\limits_{i=1}^{N} K_i V_i y_i}{\partial a_o}\right)_n dt \ ,$$

$$[a_o]_n = a_o(0) + \sum_{n=1}^{N} [\Delta a_o]_n, \quad [\Delta a_o]_n = -\lambda_o\left[\frac{\partial I}{\partial a_o}\right]_n,$$

$$\left[\frac{\partial I}{\partial a_1}\right]_{n+1} = \pm\frac{2}{T_n}\int\limits_{T_o}^{T_o+T_n}\left[Y_o - \left(\sum_{i=1}^{m} K_i y_i + \sum_{i=1}^{m} V_i K_i y_i\right)\right]_n \cdot$$
$$\cdot\left(\frac{\partial \sum\limits_{i=1}^{m} K_i y_i}{\partial a_1} + \frac{\partial \sum\limits_{i=1}^{m} K_i V_i y_i}{\partial a_1}\right)_n dt \ ,$$

$$[a_1]_n = a_1(0) + \sum_{n=1}^{N} [\Delta a_1] \ ,$$

$$[\Delta a_1]_n = -\lambda_1\left[\frac{\partial I}{\partial a_1}\right]_n,$$

....,

$$\left[\frac{\partial I}{\partial a_m}\right]_{n+1} = \pm\frac{2}{T_n}\int_{T_o}^{T_o+T_n}\left[Y_o - \left(\sum_{i=1}^{m} K_i y_i + \sum_{i=1}^{m} K_i V_i y_i\right)\right]_n \cdot$$

$$\cdot\left(\frac{\sum_{i=1}^{m} K_i y_i}{\partial a_m} + \frac{\sum_{i=1}^{m} K_i V_i y_i}{\partial a_m}\right)_n dt, \tag{7}$$

$$[a_m]_n = a_m(0) + \sum_{i=1}^{N}[\Delta a_m]_n,$$

$$[\Delta a_m]_n = -\lambda_m\left[\frac{\partial I}{\partial a_m}\right],$$

$$\left[\frac{\partial I}{\partial a_m}\right]_{n+1} = \pm\int_{T_o}^{T_o+T_n}\left[Y_o - \left(\sum_{i=1}^{m} K_i y_i + \sum_{i=1}^{m} K_i V_i y_i\right)\right]_n\left(\frac{\partial\sum_{i=1}^{m} K_i V_i y_i}{\partial b}\right)_n dt,$$

$$[b]_n = b(0) + \sum_{n=1}^{N}[\Delta b]_n,$$

$$[\Delta b]_n = -\lambda_B\left[\frac{\partial I}{\partial b}\right]_n,$$

$$[V_i]_n = \int_0^{T_2}\frac{[W_{mi}(t)]_n[b]_n U_n(t)}{[a_m]_n[W(t)]_n}dt,$$

$$[W_{mi}(t)]_n = W_{mi}(0) + \sum_{n=1}^{N}[\Delta W_{mi}(t)]_n,$$

$$[W(t)]_n = W(0) + \sum_{n=1}^{N}[\Delta W(t)]_n.$$

Представив выражение для $\Phi(nT_1)$ в виде ряда

$$\Phi(nT_1) = e^{\left[A(0)+\sum_{n=1}^{N}[\Delta A]_n NT_1\right]} = \sum_{\mu=0}^{m-1}\alpha_\mu\left[A(0) + \sum_{n=1}^{N}[\Delta A]_n\right]^\mu, \tag{8}$$

задача оценки переходной матрицы состояния сводится к определению коэффициентов α_μ, которые находятся из системы линейных уравнений

$$\begin{bmatrix} e^{\lambda_1 t} \\ e^{\lambda_2 t} \\ \dots \\ e^{\lambda_m t}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \lambda_1 & \lambda_1^2 & .. & \lambda_1^{(m-1)} \\ 1 & \lambda_2 & \lambda_2^2 & .. & \lambda_2^{(m-1)} \\ \dots & \dots & \dots & .. & \dots \\ 1 & \lambda_m & \lambda_m^2 & .. & \lambda_m^{(m-1)}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\alpha_o \\ \alpha_1 \\ \dots \\ \alpha_{m-1}\end{bmatrix} \tag{9}$$

в виде

$$\alpha_\mu = D^{-1}[e^{\lambda_\nu t}], \quad (\nu = 1, 2, \dots, m), \tag{10}$$

где D - приведенная матрица коэффициентов решения системы;

λ - характеристические числа матрицы $A(nT_1)$, получаемые из уравнения

$$\lambda^\nu + C_{\nu-1}\lambda^{\nu-1} + \dots + C_1\lambda + C_o = 0. \tag{11}$$

Коэффициенты характеристического уравнения определяются по алгоритму

$$C_{\nu-1} = -S_1,$$

$$C_{\nu-2} = -\tfrac{1}{2}(C_{\nu-1}S_1 + S_2),$$

$$C_{\nu-3} = -\tfrac{1}{3}(C_{\nu-2}S_1 + C_{\nu-1}S_2 + S_3), \tag{12}$$

....

$$C_o = \tfrac{1}{m}(C_1S_1 + C_2S_2 + \dots + C_{\nu-1}S_{\nu-1} + S_\nu),$$

где S_ν - след матрицы $A(nT_1)$, составленному на основании формулы Бохера.

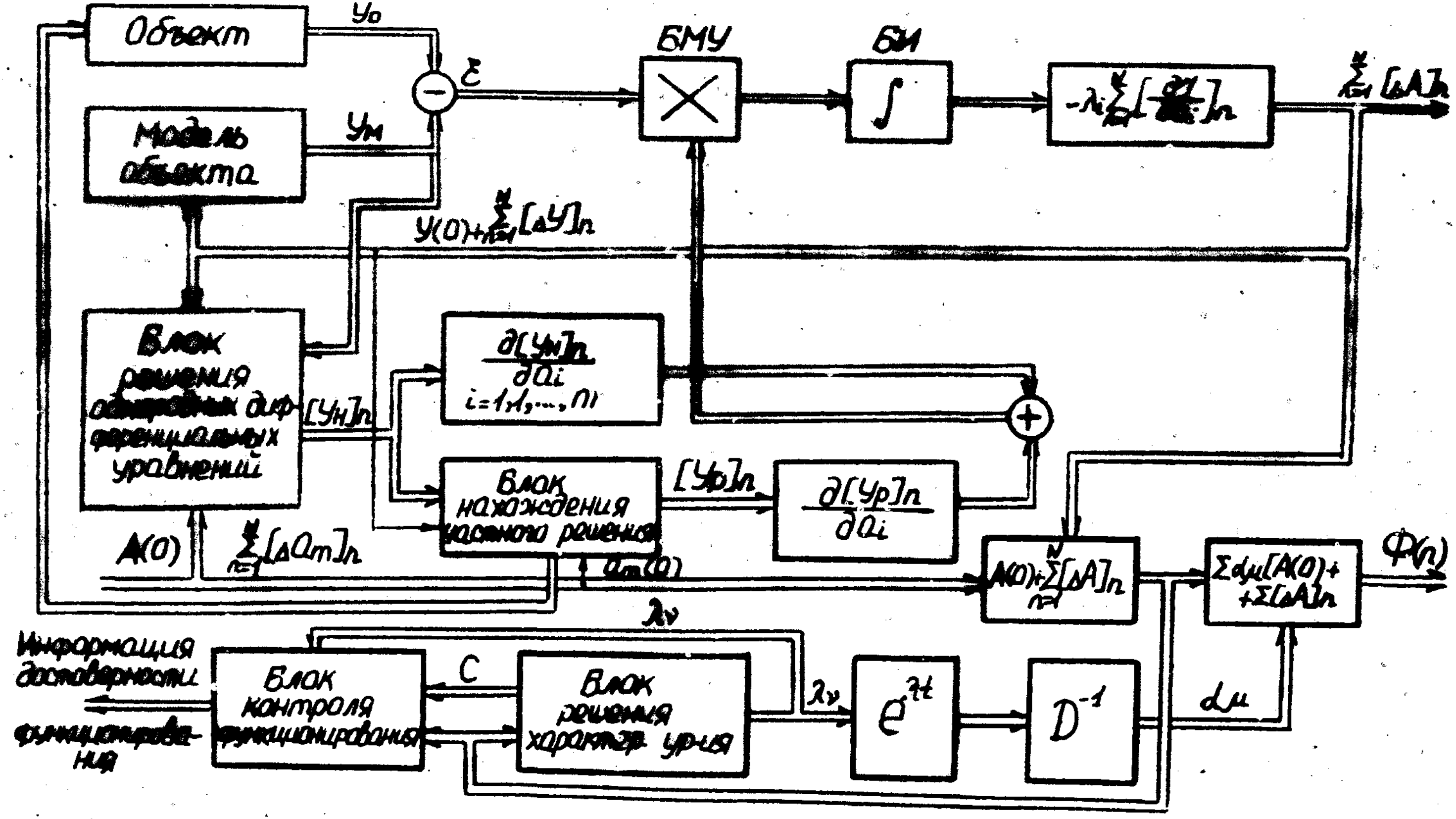

Рис. I. Блок-схема системы оценки переходной матрицы состояний.

БМУ – блок множительных устройств; БИ – блок интеграторов

Полученные выражения (5)-(12) представляют собой алгоритм системы оценки переходной матрицы состояния линейных нестационарных объектов управления, нормальная работоспособность которого проверяется на каждом итеративном шаге системой самоконтроля, работающей в соответствии с алгоритмом

$$[\lambda_1\lambda_2\lambda_3\ldots\lambda_\nu]_n = \left|A(0) + \sum_{n=1}^{N}[\Delta A]_n\right|,$$

$$[\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \ldots + \lambda_\nu]_n = [c_{\nu-1}]_n,$$

$$[C_{\nu-1}]_n = -\{a_{11}(0) + \sum_{n=1}^{N}[\Delta a_{11}]_n + a_{22}(0)$$

$$\sum_{n=1}^{N}[\Delta a_{22}]_n + \ldots + a_{mm}(0) + \sum_{n=1}^{N}[\Delta a_{mm}]_n\}.$$

Реализация полученных алгоритмов системы оценки переходной матрицы состояния и системы самоконтроля приведены в виде блок-схемы на рис.1.

Проведенные экспериментальные исследования на объекте второго порядка с помощью ЭВМ подтвердили работоспособность и эффективность полученного алгоритма оценки переходной матрицы состояния для линейных нестационарных объектов управления.

SUMMARY

The synthesis method of the valuation system of transition matrix of non-stationary operation objects state is proposed, which makes it possible to use the Kalman filter for a solution of the construction tasks of informational-operation systems.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Идентификация параметров нестационарных динамических систем с применением модифицированного фильтра Калмана/Г.С.Володченко, Н.Г.Нежевясов // Сб. Приборы и системы автоматики. -Харьков: Изд-во ХГУ им. Горького.-1974, N 31, с. 46-52.
2. Один метод идентификации параметров многомерных нестационарных объектов управления / Г.С.Володченко, В.П.Куксов // Сб. Автоматизированные системы и приборы автоматики. -М.: Изд-во Высшая школа.- 1974, N 35, с. 27-32.
3. Деруссо П., Рой Р., Клоуз Ч. Пространство состояний в теории управления.-М.: Изд-во Наука, 1970, 123 с.

Поступила в редколлегию 13 января 1995 года

УДК 621.394

АЛГОРИТМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ В ПАРАМЕТРИЧЕСКОМ И ФАЗОВОМ ПРОСТРАНСТВАХ

Новгородцев А.И., ст. преп.

В настоящей статье приводится один из методов синтеза алгоритма оценки состояний объекта управления (ОУ) в параметрическом и фазовом пространствах, основанный на использовании комбинационного метода с самонастраивающейся моделью ОУ, описывающей свободное и вынужденное движение и решение нестационарных дифференциальных уравнений методом вариации параметров.

Постановка задачи. Пусть поведение возмущающего нестационарного динамического объекта управления описывается математической моделью в виде дифференциального уравнения

$$a_m(t)\frac{d^m x(t)}{dt^m} + a_{m-1}(t)\frac{d^{m+1}x(t)}{dt^{m-1}} + \ldots + a_1(t)\frac{dx(t)}{dt} + a_0(t)x(t) = F(t\ , \qquad (1)$$

где $a_i(t)$ - неизвестные функции времени, характеризующие нестационарность объекта управления;