

Раздел III. ВОПРОСЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

В. А. ГУЛЯЕВ, Г. Н. ТОМНИКОВ, А. А. ЯМОВИЧ

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ АВТОМАТИЗАЦИИ АНАЛИЗА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Надежность реальной технической системы обладает некоторой мерой неопределенности, поэтому появляется вероятность невыполнения заданной цели. Для уверенности в правильности функционирования системы приходится контролировать ряд параметров и оценивать ее состояния [1]. Эта задача может быть эффективно решена с использованием современных измерительно-вычислительных комплексов, оснащенных ЭВМ разных уровней с надлежащими комплектами математического обеспечения и программ обработки результатов экспериментов.

Для создания таких комплектов, составляющих основную проблему автоматизации анализа, необходимо иметь достаточную информацию о математической модели объекта контроля; критериях оценки и алгоритмах определения состояния объекта контроля; измерительно-вычислительном комплексе, на котором производится измерение, обработка и анализ получаемой информации.

Математические модели объекта контроля

В качестве объекта контроля рассмотрим многоцелевую систему управления с переменной структурой. Причем на временных отрезках, когда происходит перестройка структуры для выполнения той или иной целевой функции, она обладает свойствами дискретной системы, а остальное время — непрерывной.

Математическая модель дает представление о свойствах реальной системы и критериях их оценки. Многоцелевая система управления может быть описана двумя основными математическими моделями: функционально-логической и структурной, причем вторая занимает в анализе подчиненное положение относительно первой. Последнее обстоятельство требует проводить в первую очередь исследование функционально-логической модели, которая каждый раз изменяет свой вид в зависимости от поставленной цели и необходимой для ее выпол-

нения структуры. Функционально-логическая модель m -целевой системы может быть задана в форме уравнений состояния по каждой i -ой цели, описывающих поведение дискретной системы аналогичных тем, которые приняты в теории конечных автоматов [1]

$$\begin{aligned} \vec{S}_i(kT+T) &= f_i\{\vec{S}_i(kT); \vec{V}_i(kT)\} \\ \vec{Y}_i(kT) &= g_i\{\vec{S}_i(kT); \vec{V}_i(kT)\}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $i=1, 2, \dots, m$

$\vec{V}_i = \begin{bmatrix} V_{1i} \\ V_{2i} \\ \vdots \\ V_{li} \end{bmatrix}$ — вектор входных параметров системы по i -ой цели,

$\vec{Y}_i = \begin{bmatrix} Y_{1i} \\ Y_{2i} \\ \vdots \\ Y_{pi} \end{bmatrix}$ — вектор выходных параметров системы по i -ой цели,

$S_i = \begin{bmatrix} S_{1i} \\ S_{2i} \\ \vdots \\ S_{ni} \end{bmatrix}$ — вектор состояния системы по i -ой цели;

f_i, g_i — однозначные функции, образующие матрицы m -целевой системы.

Заданная таким образом модель предполагает, что система изменяет свое внутреннее состояние во времени так, что всю информацию ее поведения можно получить при исследовании функции матрицы состояния S размерности $n \times m$.

Функционально-логическая модель представляется в виде дерева состояний и матриц состояний [2].

Оценивать состояния системы более удобно организацией дерева состояний. Дерево состояний легко представить в виде последовательности проверок значений параметров и сравнения полученных значений с допустимыми. В случае нахождения значений параметров в зоне допуска формируется положительная ветвь, в противном случае — отрицательная. Комбинация допустимых и недопустимых значений образует ветви, лежащие между полученными предельными.

Таким образом получаем дерево состояний, представляющее собой ориентированный граф, изображающий различные возможные последовательности состояний; начинается оно в верхней точке или узле. Из каждого узла или вершины вниз отходят только две линии, ведущие к нижележащим узлам (параметрам). В какой-то момент будет достигнута конечная точка ветви, ниже которой нет других узлов. Конечная точка указывает состояние или режим работы, в котором находится система. Следовательно, каждому состоянию системы при вы-

полнении одной цели будет соответствовать определенный маршрут направленного графа. В конечном счете, каждый маршрут по i -ой цели может быть представлен в виде набора значений параметров вектора состояний \vec{S}_i , являющегося столбцом матрицы S размерности $n \times m$. Путем сравнения полученного вектора \vec{S}_i с i -ым столбцом заложенной в памяти ЭВМ матрицы S_0 размерности $n \times m$ определяются как то состояние, в котором находится система, так и соответствие функционально-логической модели системы заданным целям.

При последующем контроле для каждой цели и соответствующего ей внутреннего состояния системы исследуется структурная модель, которую можно записать в форме уравнений состояния [1].

$$\begin{aligned} \dot{\vec{S}}(t) &= A(t)\vec{S}(t) + B(t)\vec{V}(t) \\ \vec{Y}(t) &= C(t)\vec{S}(t) + D(t)\vec{V}(t), \end{aligned} \quad (2)$$

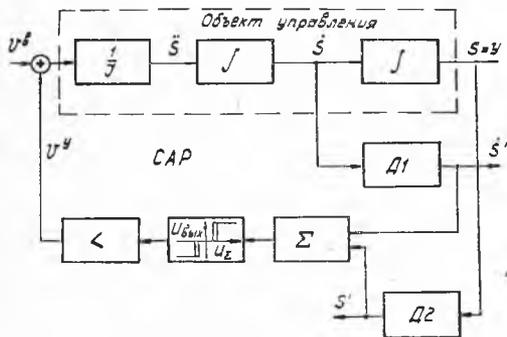
где A, B, C, D — матрицы в общем случае с изменяющимися во времени элементами.

Оценки состояния и параметров системы

В качестве примера рассмотрим структурную модель некоторого объекта управления САУ (рис. 1), который может быть описан уравнением

$$I \cdot \ddot{S} = V. \quad (3)$$

Из (2) нетрудно заключить, что для объекта (3) элементами состояния $\vec{S}(t)$ являются \dot{S} и S , выходным параметром $\vec{Y}(t)$ — $y = S$, входным параметром $\vec{V}(t)$ — V , а матрицы A, B, C, D равны:



метром $\vec{Y}(t)$ — $y = S$, входным параметром $\vec{V}(t)$ — V , а матрицы A, B, C, D равны:

$$A = [0, 1] \quad B = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1/I \end{bmatrix} \\ C = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad D = [0]$$

Для описания поведения данного объекта необходимо и достаточно определить элементы состояния $\vec{S}(t)$, что

Рис. 1. Система автоматического регулирования

возможно при известных математических моделях параметров $\vec{V}(t)$ и начальных условий элементов состояния. Представим математическую модель $\vec{V}(t)$ в виде суммы двух (управляющего — V^y и возмущающего — V^a) процессов, изображенных на рис. 2, которые можно считать кусочно-постоянными функциями времени.

Если матрица $B(t)$ является также кусочно-постоянной функцией времени, то математические модели элементов \vec{S} — \dot{S} и S имеют соответственно кусочно-параболическую структуру.

Таким образом, система будет стационарной на участках $j, j+1, j+2$ (рис. 2), выделяемых для оценки динамических и энергетических характеристик на основании ряда параметров, доступных измерениям.

Установим соответствие измеренных и реальных элементов вектора состояния объекта \vec{S} . Определим, например, реакцию датчика Д1 системы (рис. 1), измеряющего параметр \dot{S} и обладающего передаточной функцией

$$W(p) = \frac{H}{Lp^2 + hp + k} \quad (4)$$

При заданном $\vec{V}(t)$ и нулевых начальных условиях элемент \dot{S} на участке стационарности можно представить как

$$\dot{S} = \frac{\sum_{i=1}^2 V^i}{I} t \quad (5)$$

Тогда элемент (5), полученный в результате измерений, определится

$$\begin{aligned} \dot{S}' = & \frac{H \sum_{i=1}^2 V^i}{kI} \times \\ & \times \left\{ t \frac{h}{2L} t \cdot \frac{1}{k} \right. \\ & \left. \left[\sqrt{h^2 + \frac{1}{4\omega^2 L^2} (h^2 - 2kL)^2} \times \right. \right. \\ & \times \sin \left(\omega t + \arctg \times \right. \\ & \left. \left. \times \frac{2h\omega L}{h^2 - 2kL} \right) \right] + \left(t - \frac{h}{k} \right) \right\}, \quad (6) \end{aligned}$$

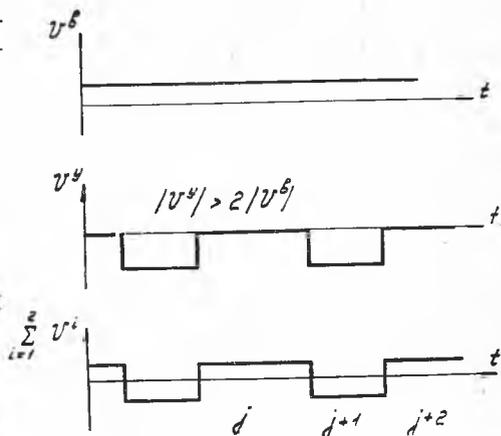


Рис. 2. Модели сигналов

где $\omega = \sqrt{\frac{k}{L} - \frac{h^2}{4L^2}}$; L , h и k — параметры датчика DT , причем L — известная постоянная величина.

Знание математической модели S' используется как для решения задачи технической диагностики (идентификации системы измерения — датчика Д1), сводящейся к определению параметров системы при заданной или принятой структуре [3], так и для определения выполнения элементом системы САР (датчиком Д1) заданной цели по выбранному критерию. Задачу технической диагностики можно решить на уровне структурных свойств математических моделей сигнала S' [4], [5].

Выбирая функциональные преобразования F над (6) так, чтобы

$$\begin{cases} F[S'] \text{ invar} = \left\{ H; \frac{\sum_{i=1}^2 V'}{I}; \frac{h}{k} \right\} \\ F[S'] = 0, \end{cases} \quad (7)$$

получим следующие структурные модели:

$$\begin{cases} S^{(IV)} + 2\beta S^{(III)} + (\beta^2 + \omega^2) S^{(II)} = 0, \\ S^{(V)} + 2\beta S^{(IV)} + (\beta^2 + \omega^2) S^{(III)} = 0, \end{cases} \quad (8)$$

где $\beta = \frac{h}{2L}$; $\omega = \sqrt{\frac{k}{L} - \frac{h^2}{4L^2}}$; $S^{(k)} = S^{(k)}$ — k -ая производная сигнала датчика Д1.

Оценку параметров h , ω , k получим из (8)

$$\begin{cases} \hat{h} = \frac{L \left(\frac{S^{(IV)}}{S^{(II)}} S^{(III)} - S^{(V)} \right)}{S^{(III)} \left(1 + \frac{S^{(III)}}{S^{(II)}} \right)}; \\ \hat{\omega} = \sqrt{\frac{\frac{\hat{h}^2}{4L^2} S^{(II)} + \frac{\hat{h}}{L} S^{(III)} + S^{(IV)}}{S^{(II)}}} \\ \hat{k} = L \hat{\omega}^2 + \frac{\hat{h}^2}{4L}. \end{cases} \quad (9)$$

Если оценка параметров измеряющей системы Д1 производится при наличии аддитивной флуктуационной помехи, целесообразным может оказаться переход к интегральным оценкам [5]

$$I = \int_0^T \psi[S^{(k)}(t)] \varphi(t) dt. \quad (10)$$

При этом оценки \hat{h} , $\hat{\omega}$, \hat{k} строятся на базе решения вариационной задачи.

Выполнение датчиком Д1 поставленной цели полностью зависит от удовлетворения системой цели управления, выполнение которой определяется обычно динамическими характеристиками. Например, могут предъявляться требования к усредненным динамическим погрешностям Д1, имеющим согласно (6) вид

$$\begin{aligned} \overline{\delta}_{\text{дин}} = & \frac{1}{T} \int_0^T |\delta(t)| dt = \frac{1}{T} \int_0^T \left| \frac{H}{\hat{k}^2} \left[e^{-\frac{\hat{h}}{2L}t} \cdot \sin \left| \hat{\omega}t + \right. \right. \right. \\ & \left. \left. \left. + \arctg \frac{2\hat{h} \hat{\omega} L}{\hat{h}^2 - 2\hat{k}L} \right) \sqrt{\hat{h}^2 + \frac{1}{4\hat{\omega}^2 L^2} (\hat{h}^2 - 2\hat{k}L)^2} \right] dt \leq \delta_{\text{дон}}(T). \quad (11) \end{aligned}$$

где \hat{k} , $\hat{\omega}$, \hat{h} вычисляются по (9) или (10), а $\delta_{\text{дон}}(T)$ — на основании заданных динамических характеристик системы управления.

Таким образом, при удовлетворении условиям вида (II) для параметров Д1 и Д2 исследуется на каждом участке стационарности j ; $j+1$ соответствие измеренной столбцовой матрицы вектора $\vec{S}(j)$ заданной — \vec{S}_0 в памяти ЭВМ. Если $\vec{S}(j) < \vec{S}_0$, то делается вывод, что поведение объекта управления (3) соответствует нормальному.

В заключение заметим, что при создании алгоритмов определения состояния сложной системы необходимо исследовать модели двух видов:

функционально-логическую, по которой определяется структура системы по выполняемой в данный момент целевой функции;

структурную, по которой оценивается качество функционирования системы в определенной структуре.

Предложенные в статье подходы к разработке алгоритмов определения состояний систем являются необходимым звеном при создании программ обработки информации на измерительно-вычислительных комплексах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Деруссо П., Рой Р., Клоуз Ч. Пространство состояний в теории управления. Изд. «Наука», М., 1970.
2. Хант Э., Марин Д., Стоун Ф. Моделирование процесса формирования понятий на вычислительной машине. Перевод с англ. Изд. «Мир», М., 1970.
3. Цыпкин Я. З. Адаптация и обучение в автоматических системах. Изд. «Наука», М., 1968.
4. Заездный А. М., Щелкунов К. Н. Получение, сжатие и диагностика измерительной информации на основе использования структурных свойств результатов измерений. «Автоматрия», № 3, 1968.

Б. Заездный А. М., Плоткин Е. И., Черкасский Ю. А. Построение измерительных приборов на основе использования структурных свойств сигналов. Извуст, «Приборостроение», № 3, 1970.

В. П. САБИЛО, В. А. СОЙФЕР

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА НЕКОТОРЫХ АЛГОРИТМОВ ФИЛЬТРАЦИИ ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ

Случайные помехи, сопутствующие измерению, можно условно разделить на два класса: флуктуационные и импульсные. Флуктуационная помеха представляет собой непрерывный во времени случайный процесс, вероятностное распределение которого хорошо описывается гауссовым законом. Импульсная помеха проявляется в виде последовательности кратковременных всплесков, возникающих в случайные моменты времени и имеющих значительные (по сравнению с уровнем полезного сигнала) амплитуды. Фильтрация помех — необходимое условие повышения достоверности измерительной информации.

Здесь мы рассмотрим алгоритмы фильтрации импульсных помех, основанные на использовании структурных свойств сигналов [1; 2].

Постановка задачи

Полагаем, что сигнал $S(t)$, заданный дискретной последовательностью, есть кусочно-линейная функция, которая искажается аддитивной помехой $\xi(t)$ «белым гауссовым шумом» с дисперсией σ_{ξ} .

В отсутствии импульсной помехи результирующий сигнал записывается

$$\{x_i\} = \{s_i\} + \{\xi_i\}, \quad (1)$$

где $x_i = x(t_i)$; $s_i = s(t_i)$; $\xi_i = \xi(t_i)$.

Сигнал (1) в некоторый момент времени может искажаться одиночной импульсной помехой ξ_u , закон распределения которой полагается неизвестным.

Рассмотрим два алгоритма фильтрации одиночных импульсных помех. В основе построения алгоритмов лежит метод вторых разностей.

Первый алгоритм. Вычисляется вторая разность, которая при отсутствии импульсных помех равна

$$(x_{i+1} - x_i) - (x_i - x_{i-1}) = \xi_{i+1} - 2\xi_i + \xi_{i-1}. \quad (2)$$