© *Д.А. Назаров, 2013*

ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЗАДАЧЕ ПОСТРОЕНИЯ ОБЛАСТЕЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ

Назаров Д.А. – *канд.* техн. наук, ФГБУН Институт автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук,
e-mail: nazardim@iacp.dvo.ru;

Рассматривается задача построения областей допустимой вариации параметров (областей работоспособности) сложных технических систем в процессе их проектирования. В рамках задачи рассматривается способ построения этих областей, позволяющий применить параллельные вычисления. Описывается структура программного комплекса построения и анализа областей работоспособности с учетом параллельных вычислений.

The task of construction of admissible parameter deviation region (region of acceptability) at engineering systems design is considered. Within the task, the method of the region of acceptability construction which allows applying parallel computations is considered. The architecture of a software system for a region of acceptability construction and analysis with the account of parallel compensations is described.

Ключевые слова: проектирование, параметрический синтез, область работоспособности.

Задача исследования области допустимой вариации параметров элементов сложных технических систем часто возникает на стадии их проектирования. Особо важную роль эта задача приобретает при проектировании систем ответственного назначения с учетом требований надежности. Большинство отказов технических объектов возникает по причине постепенных внутренних деградационных процессов, связанных с изменением характеристик элементов, входящих в состав сложного технического объекта [1]. Определение характеристик некоторой области в пространстве параметров исследуемой системы, в которой выполняются требования к выходным характеристикам, позволяет моделировать и отслеживать процессы, связанные с параметрическими возмущениями, предвидеть отказовые ситуации и, используя результаты этих исследований, выбирать начальные значения параметров для обеспечения требуемого уровня параметрической надежности. Такая область в пространстве значений параметров элементов называется областью работоспособности.

С формальной точки зрения параметры элементов системы задаются n-вектором:

$$\mathbf{x} = (x_1, x_2, ..., x_n)^T \tag{1}$$

Выходные характеристики исследуемой системы задаются m-вектором:

$$\mathbf{y} = (y_1, y_2, ..., y_m)^T \tag{2}$$

Модель системы определяет зависимость вектора (2) выходных параметров от вектора параметров элементов:

$$y_i = y_i(\mathbf{x}) \;\; \forall i = 1,2,...,m \tag{3}$$

Модель (3) для достаточно сложных систем часто задается в алгоритмическом виде или с помощью имитационной модели, реализуя концепцию «черного ящика». В связи с этим, основным доступным способом исследования области допустимой вариации параметров является точечное дискретное исследование, заключающееся в вычислении выходных параметров (2) и проверке соответствия наложенным на них требованиям:

$$y_{i\,\min} \le y_i(\mathbf{x}) \le y_{i\,\max} \quad \forall i = 1,2,...,m\,. \tag{4}$$

-

Ограничения (4) значений выходных параметров называются условиями работоспособности (УР). Эти условия определяют в пространстве значений параметров (1) элементов область:

$$D_x = \{\mathbf{x} \in R^n : y_{i\min} \le y_i(\mathbf{x}) \le y_{i\max} \quad \forall i = 1,2,...,m\}. \tag{5}$$

Область D_x, определенная выражением (5), является областью допустимой вариации параметров и называется областью работоспособности (ОР) системы в пространстве значений параметров ее элементов.

Характеристики ОР могут быть использованы с целью существенного снижения вычислительных затрат при решении ряда задач при проектировании, связанных с выбором номинальных значений параметров элементов, назначением их допусков, а также получением различных статистических характеристик дрейфа параметров.

Задача определения характеристик ОР сопряжена с различными трудностями, главным образом, состоящими в отсутствии априорной информации о конфигурации области, высокая размерность пространства параметров и отсутствие явного аналитического описания зависимостей (3).

В данной работе используется сеточное представление ОР, основанное на аппроксимации фигуры дискретным множеством элементарных гиперпараллелепипедов [2]. Их вершины задаются узлами регулярной *n*-мерной сетки, тогда внутренность каждого элементарного параллелепипеда представляет собой ячейку сетки. В рамках аппроксимации считается, что в каждой точке каждого элементарного параллелепипеда значения выходных параметров (2) одинаковы и равны значениям в выбранной точке-представителе ячейки сетки. В качестве точки-представителя ячейки сетки используется ее геометрический центр. Таким образом, если в точке-представителе выполняются УР (4), то считается, что и во всех точках ячейки сетки они выполняются, а соответствующий параллелепипед относится к подмножеству, аппроксимирующему ОР (5). Каждый элементарный параллелепипед обладает булевым свойством принадлежности подмножеству параллелепипедов, аппроксимирующему ОР.

Моделью описанного выше сеточного представления ОР является четверка:

$$G_R = (n, B, Q, S), \tag{6}$$

где n – размерность пространства, B – множество ограничений параметров элементов (допуски) вида (7):

$$x_{i\min} \le x_i \le x_{i\max} \quad \forall i = 1,2,...,n. \tag{7}$$

$Q = \{q_1, q_2, ..., q_n\}$ представляет собой конечное множество показателей q_i количества шагов сетки по каждому параметру внутри соответствующего интервала (7), позволяющих вычислить шаг сетки h_i для каждого параметра:

$$h_i = \frac{x_{i\max} - x_{i\min}}{q_i}. \tag{8}$$

Зная шаг сетки (8), можно вычислить границы любой ячейки сетки для указанного *i*-го параметра по целочисленному индексу $k_i \in \{0,1,...,q_i - 1\}$. Однако наиболее важными являются координаты его точки-представителя:

$$x_{ic}^{k_i} = x_{i\min} + h_i(k_i + 0.5). \tag{9}$$

Таким образом, параметры любого элементарного параллелепипеда можно вычислить по его набору целочисленных индексов $(k_1, k_2, ..., k_n)$. Свойство принадлежности каждого из элементарных параллелепипедов аппроксимирующему подмножеству задается конечным дискретным множеством $S = (s_1, s_2, ..., s_R)$, входящим в модель (6). Это множество называется массивом индикаторов (МИ), каждый элемент которого $s_i \in \{0,1\}$ $\forall i = 1,2,...,R$ хранит булев результат проверки УР (4) в точке-представителе соответствующего элементарного параллелепипеда, являясь результатом характеристической функции (10):

$$F_y(k_1, k_2, ..., k_n) = \begin{cases} 1, \ \mathbf{y}_{\min} \le \mathbf{y}(\mathbf{x}_c(k_1, k_2, ..., k_n)) \le \mathbf{y}_{\max} \\ 0, \ \textit{иначе} \end{cases}. \qquad (10)$$

R – количество ячеек сетки: $R = q_1 \cdot q_2 \cdot ... \cdot q_n$.

Связь набора индексов $(k_1, k_2, ..., k_n)$ ячейки сетки и одномерного индекса p соответствующего ему индикатора s_p устанавливается последовательной нумерацией элементов по измерениям:

$$p = k_1 + k_2 \cdot q_1 + k_3 \cdot q_1 \cdot q_2 + ... + k_n \cdot q_1 \cdot q_2 \cdot ... \cdot q_{n-1}, \qquad (11)$$

однако наиболее востребована обратная операция: вычисление набора индексов ячейки сетки по указанному индексу элемента МИ. Эта процедура выполняется последовательными операциями целочисленного деления для каждого k_i, $i = n, n-1, ..., 2$. Более подробно эта процедура изложена в работе [2]. Наглядная иллюстрация модели сеточного представления ОР приведена на рисунке 1.

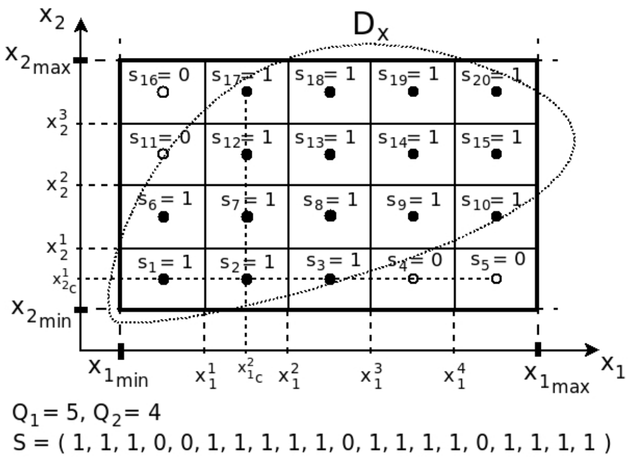

Рис.1. Сеточное представление ОР в двумерном случае.

Построение ОР на основе модели G_R (6), очевидно, сводится к полному перебору всех ячеек сетки и заполнении МИ значениями, полученными в результате вычисления для каждого из них функции принадлежности (10). Если перебор выполнять по элементам одномерного МИ, то весь алгоритм будет состоять из одного цикла (Рис. 2)

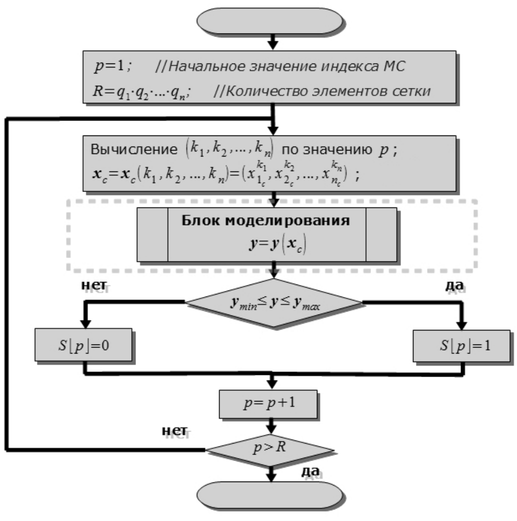

*Рис.2.*Алгоритм построения ОР.

-

Тело цикла представляет собой независимую от остальных итераций процедуру. Поэтому сам цикл может быть разбит на произвольное количество подциклов, выполняемых независимо. Эти подциклы могут также выполняться параллельно. Для этого каждый параллельный процесс должен располагать следующими данными:

- Модель исследуемой системы (3);
- Условия работоспособности (4);
- Параметры сетки:
  - Размерность пространства n;
  - Границы сетки в виде допусков на значения параметров (7);
  - Количество шагов сетки по каждому параметру Q;
- Интервал $(p_{i\min}, p_{i\max})$ индексов МИ для обработки текущим i-м процессом;

Каждый параллельный процесс выполняет цикл, приведенный на рисунке 2, по значениям индекса МИ в указанном ему диапазоне $(p_{i\min}, p_{i\max})$. В теле цикла на каждой итерации выполняется преобразование значения этого индекса в соответствующий набор индексов $(k_1, k_2, ..., k_n)$ ячейки сетки, для которого вычисляются координаты точки-представителя (9), значение характеристической функции (10), результат которой записывается в текущую позицию МИ.

После окончания выполнения перебора параллельными процессами выполняется объединение заполненных ими частей МИ. Эту задачу выполняет мастер-процесс, который также наравне с подчиненными процессами может выполнять задачу инициализации части МИ. Наглядно работа параллельных процессов приведена на рисунке 3.

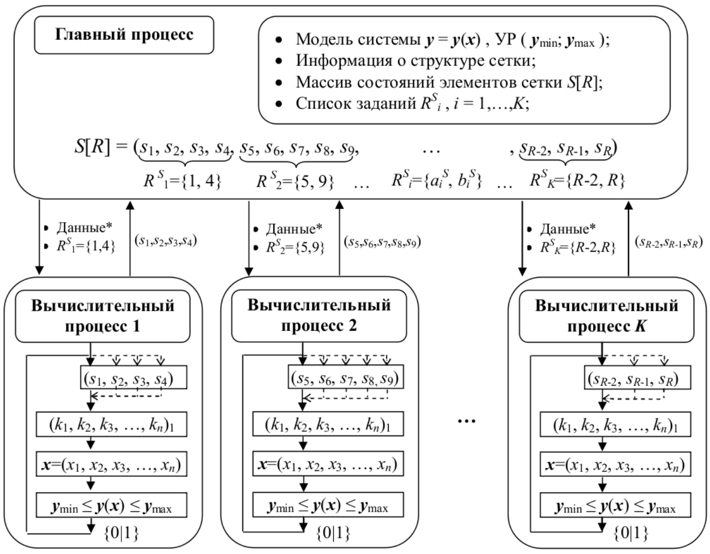

*Рис.3.*Взаимодействие параллельных процессов задачи построения ОР.

Библиографические ссылки

1. *Абрамов О.В.* Мониторинг и прогнозирование технического состояния систем ответственного назначения // Информатика и системы управления. – 2011. – № 2(28). – С. 4-15.

2. *Назаров Д.*А. Использование областей работоспособности для оптимального выбора номиналов параметров // Информатика и системы управления. – 2011. – №2(28). – С. 59 – 69.

-