УДК 681.5.015.23

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА НА РЕГУЛЯРНОЙ СЕТКЕ[4]

Д.А. Назаров

Институт автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения РАН, Россия, Владивосток, nazardim@iacp.dvo.ru

Аннотация. Рассматривается задача параметрического синтеза технических систем с учетом требований надежности и дрейфа параметров, приводящего к отказам. К основным трудностям решения этой задачи относятся размерность пространства параметров системы, вероятностный характер их дрейфа и сложность модели системы, которая часто задается в алгоритмическом виде, что не позволяет получить решение аналитически. В работе рассматривается применение генетического алгоритма на основе кодирования значений параметров системы на регулярной многомерной сетке к задаче выбора оптимального набора параметров по критерию максимальной удаленности от границы области их допустимых значений.

Ключевые слова: надежность, проектирование, САПР, параметрический синтез, генетический алгоритм.

A PARAMETRIC SYNTHESIS PROBLEM SOLUTION WITH GENETIC ALGORITHM ON A REGULAR GRID

D.A. Nazarov

***** *Institute of Automation and Control Processes, Far Eastern Branch of RAS, Russia, Vladivostok, nazardim@iacp.dvo.ru*

Abstract: The problem of parametric synthesis of engineering systems with the account of parametric deviations and reliability requirements is considered. The main difficulties in solving this problem consists in the dimension of the system parameter space, the probabilistic nature of parametric drift, and the complexity of the system model, which is often specified in an algorithmic form, which does not allow one to obtain a solution analytically. In this paper, we consider the application of a genetic algorithm based on coding the values of system parameters on a regular multidimensional grid to the problem of choosing the optimal set of parameters by the criterion of maximum distance from the boundary of their acceptable values.

Keywords: reliability, parametric synthesis, design, CAD, parametric synthesis, genetic algorithm.

Задача *параметрического синтеза* (ПС) является одним из этапов проектирования технических систем и состоит в подборе номинальных значений параметров элементов системы с учетом их естественного дрейфа и требований надежности. Для учета влияния дрейфа параметров на надежность системы необходимо обладать функциональной моделью этой системы в виде связи выходных характеристик, определяющих ее надежностные свойства, от параметров ее компонентов. Одним из направлений в теории надежности, основанном на учете зависимости состояния системы от значений параметров ее элементов, является *функционально-параметрический* (ФП) подход. Согласно этому подходу, математическая модель исследуемой системы в любой момент времени отражает зависимость показателей качества ее функционирования от набора некоторых параметров с учетом взаимодействия системы с факторами окружающей среды (естественные, техногенные, антропогенные), а также изменения ее параметров под влиянием этих факторов, что приводит к отказам при выходе параметров за границу области допустимых значений [1].

[4] **Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта ДВО РАН комплексной программы «Дальний Восток», проект № 18-5-044.**

Формальная постановка задачи ПС состоит в следующем. Пусть система обладает m выходными характеристиками, интересующими потребителя:

$$\mathbf{y} = (y_1, y_2, ..., y_m), y_i \in R, \tag{1}$$

каждая из которых, согласно принципу ФП-подхода, в каждый момент времени зависит от набора параметров элементов системы (внутренних параметров):

$$\mathbf{x} = (x_1, x_2, ..., x_n), \quad x_i \in R \tag{2}$$

в виде зависимостей (3):

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

Система выражений (3) представляют, собственно, модель системы. Для достаточно сложных систем аналитическое выражение этих зависимостей практически недоступно, и они задаются в алгоритмическом виде [2].

На выходные характеристики (1), как правило, накладываются ограничения (4), указываемые в спецификации к системе или устройству:

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

которые иногда называют *условиями работоспособности* (УР), т.к. они определяют состояние работоспособности системы или состояние отказа. Эти ограничения формируют в пространстве значений внутренних параметров область (5):

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

которая называется *областью работоспособности* (ОР) системы и, как можно видеть, представляет собой множество точек пространства внутренних параметров, при которых система находится в работоспособном состоянии.

Задача оптимального параметрического синтеза состоит в выборе номинальных значений внутренних параметров, обеспечивающих максимум вероятности нахождения этих параметров с учетом их дрейфа внутри области в течение определенного интервала времени (6):

$$\mathbf{x}_{ном} = \arg\max_{\mathbf{x} \in D_X} P(X(\mathbf{x}_0, t) \in D_x, t \in [0, T]), \tag{6}$$

где $X(\mathbf{x}_0, t)$ – случайный процесс изменения внутренних параметров от начального значения $\mathbf{x}_0$ в течение времени t. Характеристики области зачастую неизвестны, а в случае невозможности выразить их аналитически через уравнения модели (3), построение ОР представляет собой самостоятельную задачу, которой в разное время было посвящено немало работ, с кратким обзором которых можно ознакомиться в [4, 5]. В случае отсутствия характеристик ОР, выражение (6) может быть записано через проверку выполнения УР (4) для каждой случайной реализации набора внутренних параметров в следующем виде:

$$\mathbf{x}_{ном} = \arg\max_{\mathbf{x} \in D_X} P(y_{\min i} \le y_i(X(\mathbf{x}_0, t)) \le y_{\max i}, \forall i = 1, 2, ..., m, t \in [0, T]). \tag{7}$$

Основной трудностью использования стохастического критерия в выражениях (6) и (7) является отсутствие вероятностных свойств случайного процесса X ($\mathbf{x}_0$, t). В случае невозможности применить стохастический критерий или с целью проведения дополнительных исследований используется детерминированный критерий, например, критерий максимального запаса работоспособности [4].

В настоящей работе предлагается алгоритм решения задачи ПС (6) на основе генетического алгоритма (ГА) [6]. Использование ГА в задачах выбора оптимальных значений параметров на этапе проектирования рассматривался, например, в работе [7]. Предложен алгоритм, содержащийся в основе программного модуля, входящего в систему нахождения и использования областей работоспособности (СНИОР) [8].

Популяция ГА представляет конечное множество особей – возможных решений задачи ПС. На каждом i-м этапе алгоритма формируется новое поколение, состоящее из P особей:

$$F_i = \{\mathbf{x}_{i1}, \mathbf{x}_{i2}, ..., \mathbf{x}_{iP}\}. \qquad (8)$$

Одной из особенностей классической постановки ГА является использование не значений параметров, а их представлений в виде *хромосом* в двоичной записи. Таким образом, непосредственно в ГА используется популяция в виде множества *генотипов* (9), однозначно связанного с множеством *фенотипов* (8):

$$H_i = \{\mathbf{h}_{i1}, \mathbf{h}_{i2}, ..., \mathbf{h}_{iP}\}. \qquad (9)$$

Каждый фенотип представляет набор хромосом, представляющих двоичное представление соответствующего параметра:

$$\mathbf{h}_{i1} = (h_{i1}^1, h_{i1}^2, ..., h_{i1}^n). \qquad (10)$$

В качестве значения каждой хромосомы может выступать как непосредственно двоичное представление параметра, так и двоичное значение его индекса на сетке. Проблема непосредственного использования двоичного значения числа в некоторых случаях может быть связана с двоичным представлением числа с плавающей точкой, в то время как двоичное кодирование целочисленных значений не вызывает затруднений.

В работе используется кодирование параметров на основе регулярной сетки из 256 интервалов, таким образом, каждая хромосома содержит 8 генов – двоичных разрядов. В качестве значения хромосомы выступает двоичное представление не индекса сетки, соответствующего значению параметра, а его кода Грея, т.к. кодирование Грея устраняет проблему увеличенного расстояния Хэмминга между двумя соседними числами в их двоичном представлении [6].

Другой важной составляющей ГА является *функция приспособленности*, играющая важную роль в селекции наиболее приспособленных особей или возможных решений задачи, наиболее подходящих по установленному критерию. В задаче ПС используется функция наименьшего расстояния до границы ОР от текущей точки $\mathbf{x}_{ij}$ в направлении какой-либо координат:

$$f = f_{D_X}(\mathbf{x}). \qquad (11)$$

Задача оптимизации в рамках ГА состоит в отыскании особи (параметров задачи), имеющей максимальное значение функции приспособленности (11), т.е. такие значения номинальных параметров, которые имеют максимальное кратчайшее расстояние до границы ОР.

Алгоритм поиска оптимального решения задачи ПС (6) на основе ГА состоит из следующих этапов:

1. Порождение начальной популяции H_0.
2. Вычисление функции приспособленности для каждой особи.
3. Селекция: отбор наиболее приспособленных особей и порождение новой популяции H_i.
4. Если не выполнены условия остановки алгоритма, то переход к этапу 2.

Этап селекции заключается в выборе наиболее приспособленных особей для порождения новой популяции. Отбор особей выполняется *методом рулетки*: на основе функций приспособленности всех особей вычисляются соответствующие им доли в секторе рулетки, затем выполняется генерация случайного числа, по результатам чего выигрывает та особь, в сектор которой попало это случайное число [6]. Таким образом, отбираются пары особей, для которых проводится операция скрещивания (кроссинговер) и случайной мутации. Операция скрещивания представляет порождение двух новых особей обменом фрагментами родительских хромосом, разрезанным по случайному локусу. Операция мутации представляет инверсию случайного гена.

В настоящей реализации алгоритма применительно к задаче ПС обнаруживаются следующие трудности: построение начальной популяции и условие остановки алгоритма. Точки начальной популяции должны находиться внутри ОР, иначе невозможно оценить их функцию приспособленности (11).

Решение задачи ПС для делителя напряжения (рис. 1), модель которого приведена в работе [5] выполнено начальной популяцией из 5^4=625 точек, расположенных в узлах регулярной сетки, отобрано из заданных 20 итераций:

R_1=323.63 В; R_2 = 648.05 В; С = 1.77 нФ; Uвх=7.98 В (рис. 2).

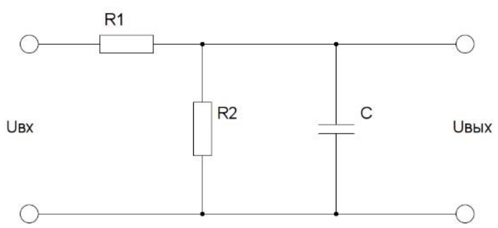

Рис. 1. Принципиальная схема делителя напряжения

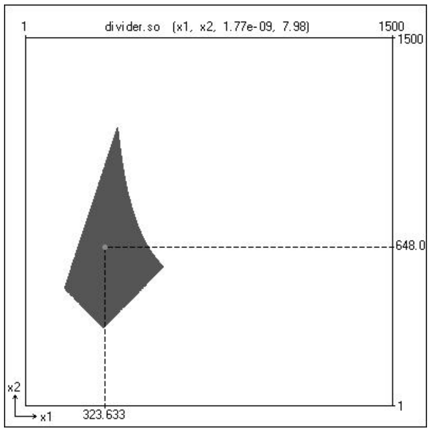

Рис. 2. Сечение ОР с отображением найденного с помощью ГА решения

Таким образом, предложен генетический алгоритм на основе кодирования значений параметров системы на регулярной многомерной сетке для решения задачи выбора оптимального набора параметров по критерию максимальной удаленности от границы области их допустимых значений, продемонстрирована эго работоспособность на примере конкретной задачи.

Библиографический список

1. Абрамов О.В. Возможности и перспективы функционально-параметрического направления теории надежности // Информатика и системы управления. 2014. №4(42). С. 53 – 66.
2. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2002.
3. Абрамов О.В. Параметрический синтез стохастических систем с учетом требований надежности. – М.: Наука, 1992.
4. Назаров Д.А. Использование областей работоспособности для оптимального выбора номиналов параметров // Информатика и системы управления. 2011. №2(28). С. 59 - 69.
5. Саушев А.В. Области работоспособности электротехнических систем. – Санкт-Петербург: Политехника, 2013.
6. Goldberg D. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. Addison-Wesley: Reading, MA. 1989.
7. Parkinson D.B., “Robust Design Employing a Genetic Algorithm,” Quality and Reliability Engineering International, 16. 2000. pp. 201-208.
8. Абрамов О.В., Назаров Д.А. Программно-алгоритмический комплекс построения, анализа и использования областей работоспособности // Информационные технологии и вычислительные системы. 2015. №2. С. 3 – 13.