Если $Y_{пр}(N+1)-3\delta \le Y_* \le Y_{пр}(N+1)+3\delta$, то при равномерном законе распределения ошибки контроля $P=\frac{Y_{пр}(N+1)+3\delta-Y_*}{6\delta}$.

Чтобы ускорить процесс вычисления коэффициентов Фурье по формуле (2) можно воспользоваться алгоритмом быстрого преобразования Фурье [6,7] или использовать технологию параллельных (распределенных) вычислений.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов О.В. Об оценке вероятности наступления рискового события: функционально-параметрический подход // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 1. – С. 24-31.

2. Абрамов О.В. О функционально-параметрическом направлении теории рисков // Труды международного симпозиума «Надежность и качество 2015». – Пенза: ПГУ, 2015. – Т.I. – С. 5-6.

3. Абрамов О.В. Анализ и прогнозирование техногенных рисков // Информатика и системы управления. – 2012. – № 3. – С. 97-105.

4. Абрамов О.В., Цициашвили Г.Ш. Оценка риска потери работоспособности технического объекта с учетом мониторинга параметров состояния // Труды международного симпозиума «Надежность и качество 2018». – Пенза: ПГУ, 2018. – Т.I. – С. 148-149.

5. Абрамов О.В., Цициашвили Г.Ш. Прогнозирование момента отказа контролируемой технической системы // Информатика и системы управления. – 2018. – №3. – С. 42-49.

6. Cooley J.W., Tukey J.W. An Algorithm for the Machine Calculation of Complex Fourier Series // Mathematics of Computation. 1965. Vol. 19, No. 90. P. 297-301.

7. Heideman M., Johnson D., Burrus C. Gauss and the history of the fast fourier transform // IEEE ASSP Magazine 1984. Vol. 1, Issue 4. P. 14-21.

УДК 681.5.015.23

Назаров Д.А.

ИАПУ ДВО РАН, Владивосток, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА С ЦЕЛОЧИСЛЕННЫМ КОДИРОВАНИЕМ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА

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 данной 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, ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ, ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ, ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ

Введение

Задача параметрического синтеза (ПС) является одним из этапов проектирования технических систем и состоит в подборе номинальных значений параметров элементов системы, обеспечивающих ее безотказное функционирование в течение заданного интервала времени с учетом отклонений параметров от их расчетных значений вследствие их естественного дрейфа. 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].

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

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

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

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

в виде зависимостей (3):

$$y_i = y_i(x), \forall i=1,2,...,m \;. \qquad (3)$$

Выражения (3) представляют собой 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:

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

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

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

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 в течение определенного интервала времени (6):

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

где X(x0, t) – случайный процесс изменения внутренних параметров от начального значения x0 в момент времени t, в пределах заданного срока эксплуатации T. Характеристики ОР (5) 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:

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

Основной трудностью использования стохастического критерия в выражениях (6) и (7) является отсутствие вероятностных характеристик случайного процесса X(x0, t). В случае невозможности применить стохастический критерий или с целью проведения дополнительных исследований используется детерминированный критерий, например, критерий максимального запаса работоспособности [6]. При отсутствии характеристик случайного процесса дрейфа параметров задачу ПС можно свести к выбору параметров по критерию серийнопригодности путем имитации производственного разброса параметров от некоторым образом перебираемых значений номиналов, например, полным перебором на регулярной сетке [7].

Применение генетического алгоритма к задаче ПС

В данной работе рассматривается алгоритм решения задачи ПС (6) с помощью генетического алгоритма (ГА) с целочисленным кодированием параметров [8]. Использование ГА в задачах выбора оптимальных значений параметров на этапе проектирования рассматривался, например, в работе [9]. В данном докладе описывается алгоритм, лежащий в основе программного модуля, входящего в систему нахождения и использования областей работоспособности (СНИОР)[10].

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

$$P_i=\{\mathbf{x}_{i1},\mathbf{x}_{i2},\ldots,\mathbf{x}_{iK}\} . \qquad (8)$$

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

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

Каждый генотип представляет собой набор хромосом, представляющих собой двоичное представление соответствующего параметра:

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

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 внутренним двоичным представлением числа с плавающей точкой, в то время как двоичное кодирование целочисленных значений не вызывает затруднений.

В данной работе используется кодирование параметров с помощью регулярной сетки из 256 интервалов, таким образом, каждая хромосома содержит 8 генов – двоичных разрядов. В качестве значения хромосомы выступает двоичное представление не самого 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 [8].

Другой важной составляющей ГА является функция приспособленности, играющая важную роль в селекции наиболее приспособленных особей (возможных решений задачи), наиболее подходящих по установленному критерию. В предложенном подходе к решению задачи ПС используется детерминированный критерий в виде функции наименьшего расстояния до границы ОР от текущей точки xij в направлении какой-либо из 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) с помощью ГА состоит из следующих этапов:

Порождение начальной популяции H0.

Вычисление функции приспособленности (11) для каждой особи.

Селекция: отбор наиболее приспособленных особей и порождение новой популяции Hi.

Если не выполнены условия остановки алгоритма, то переход к этапу 2.

В каноническом ГА начальная популяция состоит из особей со случайными значениями хромосом. В данной работе начальная популяция формируется в узлах регулярной сетки внутри описанного около ОР гиперпараллелепипеда [4]. Одна из проблем формирования начальной популяции с помощью сетки состоит в попадании особей в ОР.

Этап селекции заключается в выборе наиболее приспособленных особей для порождения новой популяции. Отбор особей выполняется методом рулетки: на основе функций приспособленности (11) всех особей {f1, f2, …, fK} вычисляются соответствующие им доли {s1, s2, …, sK} в виде секторов рулетки.

$$s_i=\frac{f_i}{f_1+f_2+\ldots+f_K} . \qquad (12)$$

Сектора рулетки заменяются отрезком [0,1] с K интервалами, соответствующими долям (12):

$$l_i=[\sum_{j=1}^{i-1}s_j,\sum_{j=1}^{i}s_j],i>1, \qquad l_1=[0,s_1] . \qquad (13)$$

Вращение рулетки имитируется генерацией случайного числа с равномерным распределением, по результатам чего выигрывает та особь, в какой из интервалов (13) попало это число [8].

Таким образом, отбираются K/2 пар особей, для которых проводится операция скрещивания (кроссовер) и случайной мутации. Операция скрещивания выполняется для всех n пар родительских хромосом (10) и представляет собой порождение двух новых путем обмена фрагментами родительских хромосом, разрезанных по случайному локусу. Операция мутации представляет собой инверсию случайного гена [8].

Пример

Рассмотрим делитель напряжения, принципиальная схема которого изображена на рисунке 1 [5].

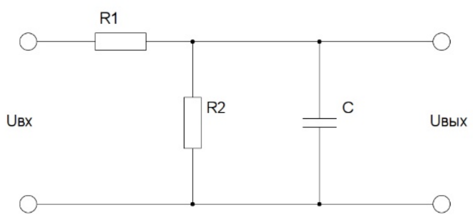

Рисунок 1 – Принципиальная схема делителя напряжения

Внутренними параметрами делителя являются:

x1 = R1 – сопротивление резистора R1, Ом;

x2 = R2 – сопротивление резистора R2, Ом;

x3 = C – емкость конденсатора C, Ф;

x4 = Uвх – входное напряжение, В.

Выходными характеристиками этого делителя являются:

y1 = τ – постоянная времени перезаряда конденсатора C;

y2 = P – мощность рассеяния, Вт;

y3 = Uвых – напряжение на выходе делителя, В.

Выходные характеристики связаны с параметрами элементов выражениями [5]:

$$y_1=\frac{CR_1R_2}{R_1+R_2}, \quad y_2=\frac{U_{BX}^2}{R_1+R_2}, \quad y_1=\frac{U_{BX}^2R_2}{R_1+R_2} .$$

На выходные характеристики налагаются условия работоспособности:

$$y_1<0.5\cdot10^{-6}; \quad y_2<0.1; \quad 4\le y_3\le 6 .$$

Начальная популяция состояла из 54=625 точек регулярной сетки (по 5 на каждый параметр) внутри описанного гиперпараллелепипеда:

$1.004 \le x_1 \le 1499.97$ Ом;

$176.382 \le x_2 \le 1500$ Ом;

$1 \cdot 10^{-10} \le x_3 \le 9.99984 \cdot 10^{-9}$ Ф;

$4.00602 \le x_4 \le 15.4227$ В.

В пределах установленного ограничения в 20 итераций было найдено оптимальное решение задачи ПС по критерию наибольшей удаленности от границы ОР по направлениям координатных осей (рис. 2).

R1=323.63 В; R2 = 648.05 В; C = 1.77 нФ; Uвх=7.98 В

Заключение

Рассмотрена задача оптимального параметрического синтеза стохастических систем. Для решения задачи предложен генетический алгоритм с целочисленным кодированием параметров на регулярной сетке. Описаны особенности алгоритма применительно к задаче параметрической оптимизации в виде выбора начальной популяции и порождения новых особей. На примере делителя напряжения показана работа описанного алгоритма. Дальнейшее развитие предложенного алгоритма состоит в использовании в качестве хромосом двоичных кодов чисел с плавающей точкой.

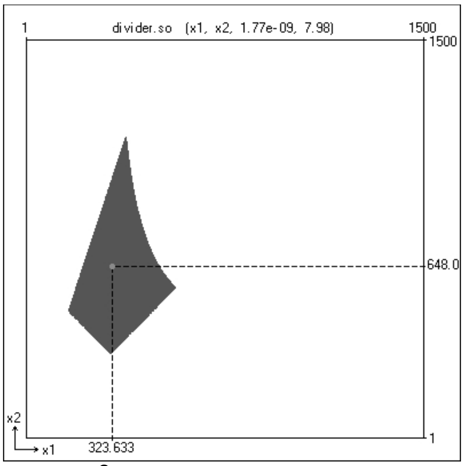

Рисунок 2 – Сечение ОР с отображением найденного с помощью ГА решения

ЛИТЕРАТУРА

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 / И.П. Норенков. – 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. Катуева Я.В., Назаров Д.А. Аппроксимация и построение областей работоспособности в задаче параметрического синтеза // Международный симпозиум «Надежность и качество»: Сб. науч. трудов. – Пенза: ПГУ. – 2005. С. 130 - 134.
5. Саушев А.В. Области работоспособности электротехнических систем / А.В. Саушев. – Санкт-Петербург: Политехника, 2013.
6. Назаров Д.А. Использование областей работоспособности для оптимального выбора номиналов параметров // Информатика и системы управления. – 2011. - №2(28). – С. 59 - 69.
7. Лагунова А.Д., Назаров Д.А. Параллельный алгоритм решения задачи оптимального параметрического синтеза на основе метода сеток // Труды Международного симпозиума "Надежность и качество". – 2018. – Т.1. – С. 255-258.
8. Goldberg D. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. Addison-Wesley: Reading, MA, 1989.
9. Parkinson D.B., “Robust Design Employing a Genetic Algorithm,” Quality and Reliability Engineering International, 16, 2000. Pp. 201-208.
10. 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.

УДК 681.5.015.23

Якушов Д.В., Аверин И.А.

ФГБОУ ВО «Пензенский Государственный университет», Пенза, Россия

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВИДОВ МОДУЛЯЦИИ СИГНАЛОВ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ИХ ЧЕРЕЗ РАЗВЯЗЫВАЮЩИЙ ТРАНСФОРМАТОР

Проведен сравнительный анализ видов модуляции аналоговых сигналов для последующей передачи их через развязывающий трансформатор. Выявлены достоинства и недостатки каждого метода. Выбран наиболее оптимальный вид модуляции. Приведены сведения о возможной погрешности преобразования, исходя из выпускаемой номенклатуры приборов, сделаны выводы.

Ключевые слова:

МОДУЛЯЦИЯ, СИГНАЛ, ПЕРЕДАЧА, ГАЛЬВАНИЧЕСКАЯ РАЗВЯЗКА, ТРАНСФОРМАТОР, ТОЧНОСТЬ, СТАБИЛЬНОСТЬ

При осуществлении измерений в высоковольтных цепях требуется гальваническая развязка измерительного оборудования от силовых цепей. Это защищает обслуживающий персонал от поражения электрическим током, а также предотвращает выход из строя высокоточных приборов. Если требуется контролировать параметры в цепях, где напряжение превышает 5 кВ, то наиболее рациональным решением является развязывающий трансформатор. Его напряжение изоляции первичной от вторичной обмотки ограничено конструктивными особенностями, а также применяемыми материалами. Расчет требуемой конструкции и выбор необходимых материалов позволят спроектировать трансформаторы, обеспечивающие практически любое напряжение изоляции. Применение такого развязывающего элемента влечет за собой трудности, связанные с невозможностью прямой передачи низкочастотного аналогового сигнала и постоянного напряжения. Требуется модуляция входного напряжения, передача его через трансформатор и последующая его демодуляция. Наиболее распространенными видами модуляции импульсных сигналов являются частотная, амплитудная, широтно-импульсная модуляции. Достоинства и недостатки каждого метода хорошо известны, однако при применении их для передачи информационного сигнала через трансформатор накладываются некоторые специфические ограничения на каждый способ модуляции [1].

Частотная модуляция (ЧМ) – это вид аналоговой модуляции, при которой входной аналоговый сигнал управляет частотой следования импульсов, при этом амплитуда импульсного сигнала остается неизменной. Временная диаграмма частотно-импульсной модуляции представлена на рисунке 1.

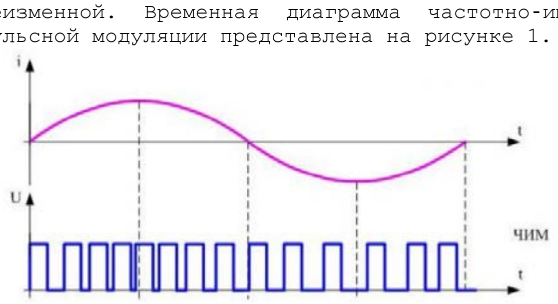

Рисунок 1 – Временная диаграмма частотно-импульсной модуляции