

**ПОДБОР ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ НА ЭТАПЕ ОПТИМИЗАЦИИ
В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ НА ОСНОВЕ
ФУНКЦИОНАЛЬНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПОДХОДА**

Г. Б. Диго, Н. Б. Диго

*Лаборатория управления надежностью сложных систем, digo@iacp.dvo.ru;
ФГБУН «Институт автоматике и процессов управления
Дальневосточного отделения РАН», Владивосток, Россия*

Ключевые слова: автоматизированное проектирование, гибридные алгоритмы поиска, оптимальный параметрический синтез, распараллеливание вычислений, эволюционные вычисления.

Аннотация: Рассмотрены проблемы проектирования аналоговых радиоэлектронных схем с учетом стохастических закономерностей изменения их параметров и требований надежности. Проанализированы трудности, возникающие при использовании функционально-параметрического подхода с проблемной областью в виде оптимального параметрического синтеза в условиях дефицита исходной информации. Дана оценка возможности уменьшения вычислительной сложности применением предварительного анализа исходных данных, технологий параллельных и распределенных вычислений. Представлено описание эволюционного алгоритма синтеза в существующих условиях, предложены некоторые пути преодоления сложностей, возникающих на этапе оптимизации. Оценивается возможность использования эволюционных вычислений при вероятностном характере критерия оптимальности, нелинейности целевой функции и ограничений на нее.

Введение

При создании и использовании систем автоматизированного проектирования (САПР) возникает проблема высокой вычислительной трудоемкости при моделировании, многовариантном анализе и оптимизации, составляющих основу схмотехнического проектирования. Это очень важно при учете стохастических закономерностей изменения параметров проектируемых устройств и требований надежности, когда кроме динамических, часто нелинейных систем, приходится моделировать случайные процессы изменения их параметров и оптимизировать по стохастическим критериям.

Процесс проектирования включает системотехническое проектирование, схмотехническое проектирование радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), техническое проектирование, технологическую подготовку производства, состоящие из отдельных процедур, формирующих описание проектируемого объекта на основе соответствующих пакетов прикладных программ и находящихся частное проектное решение [1]. Типичные процедуры схмотехнического проектирования РЭА – тесно взаимосвязанные анализ и синтез ее описаний на различных уровнях рассмотрения, направленные на создание приемлемого или оптимального проектного решения [2].

Процедура синтеза позволяет создавать описания по заданным требованиям, свойствам и ограничениям. Она состоит из последовательного решения двух задач: выбора структурной схемы, называемой структурным синтезом, и определения параметров ее элементов, обеспечивающих выполнение требуемых характеристик, называемого параметрическим синтезом [2].

Процедура анализа выявляет свойства заданного описания РЭА, оценивая соответствие полученного решения заданным требованиям. Связь между этими двумя процедурами выполняет процедура оптимизации, которая в условиях дефицита исходной информации осуществляет многократный анализ целевого изменения параметров до получения удовлетворительного приближения к заданным характеристикам, а процесс проектирования становится многоэтапным, многократно корректируемым и рассматривается как итерационный. В таких условиях применимы методы эволюционного синтеза, выполняющие на каждой стадии эволюцию множества решений в соответствии с заданным критерием и использующие эволюционные методы или стратегии для последовательного выполнения этапов структурного и параметрического синтеза [2].

В статье анализируется возможность подбора проектных решений для аналоговой РЭА на этапе оптимизации в условиях неопределенности на основе функционально-параметрического подхода (ФП-подхода) [3].

Оптимальный параметрический синтез в условиях неполной информации

Функционально-параметрический подход, используя компьютерное моделирование процессов функционирования проектируемых систем, методы оптимального параметрического синтеза по критериям надежности, обеспечивает сохранение в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих их способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения [3, 4]. При таком подходе задачи расчета и обеспечения надежности, возникающие на этапе проектирования, рассматриваются как разновидность задач управления случайными процессами с решением, полученным по результатам прогнозирования процессов изменения параметров и учета специфики случайных процессов дрейфа параметров [4]. Таким образом, проектирование на основе ФП-подхода требует учета возможных отклонений параметров от расчетных значений, предсказания последствий их отклонений и разработки комплекса мероприятий, обеспечивающих требуемые характеристики объекта в таких условиях. Для нахождения номинальных значений параметров элементов системы в качестве проблемной области выбран оптимальный параметрический синтез (ОПС) [4]. При заданной структуре и математической модели проектируемого объекта ОПС обеспечивает нахождение максимальной вероятности выполнения условий работоспособности в течение заданного времени эксплуатации.

С учетом стохастического характера критерия оптимальности, многомерности пространства поиска, необходимости решения задачи глобальной оптимизации подбираются эффективные численные методы решения задач ОПС, допускающие распараллеливание процесса поиска решения [4]. Программная среда ОПС включает набор нескольких взаимосвязанных программно-алгоритмических модулей (ввод описания проектируемой системы в вычислительную среду, преобразование описания системы в математическую модель, детерминированный анализ, статистический анализ, оптимизация) [5]. Модуль оптимизации обеспечивает выбор наилучших решений с учетом производственных и эксплуатационных отклонений параметров проектируемых систем от их расчетных значений в задачах глобальной оптимизации многоэкстремальных многомерных нелинейных целевых функций, в том числе и не имеющих аналитического представления, по стохастическому и детерминированному критериям при нелинейных функциях-

ограничениях на управляемые параметры. В описанных условиях практически не применимы классические методы нахождения экстремумов, поэтому приходится обращаться к методам поисковой оптимизации, среди которых нет универсальных. Уменьшению вычислительной сложности способствуют предварительный анализ, содержащий анализ исходных данных, понижение размерности пространства поиска, ландшафтный анализ целевой функции [6].

При четкой постановке задачи параметрический синтез в современных САПР не вызывает трудностей, а при неполной информации возникают затруднения из-за неопределенности параметров синтеза и необходимости поиска на множестве, не ограниченном четко критериями. Пока отсутствует строгая математическая теория для таких систем, имеются альтернативные пути развития, среди которых – применение эволюционных методов, не требующих полного математического описания или строгой теории [1]. Для эволюционного процесса при нечеткой постановке задачи достаточно получать более приспособленную систему отбором оптимального решения, удовлетворяющего неполным, часто противоречивым наборам параметров.

Эволюционные алгоритмы в условиях неопределенности находят оптимальные решения в областях, сведения о которых недостаточно определены. Так, эволюционный синтез рассматривает задачу проектирования как итерационный процесс, выполняя на каждой стадии эволюцию множества решений в соответствии с заданным критерием [2]. Решение начинается с поиска структуры объекта на основе неполного функционального описания на неограниченном множестве параметров или при неточном законе функционирования, приводя к необходимости введения ограничений на область поиска решений, выполнения этого поиска на множестве различных трактовок имеющейся неполной информации при заданном вероятностном или детерминированном критерии. Попадание найденных параметров в область работоспособности подтверждает выбор оптимального решения по заданному критерию, иначе полученные результаты используются в повторяющихся процедурах структурного и параметрического синтеза для дальнейшей оптимизации по требуемому параметру или улучшения решения в целом [2].

Обеспечение требуемой или наибольшей степени выполнения условий работоспособности при заданной структуре объекта ОПС осуществляется поиском номинальных значений параметров проектируемого объекта, при которых достигается максимальная вероятность выполнения условий работоспособности [4].

Процедура оптимизации, связывающая структурный и параметрический синтез в эволюционном синтезе, сводится к решению следующей задачи.

Рассматривается техническая система, свойства которой зависят от значений параметров ее элементов $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n)$, $\mathbf{x} \in R^n$. Информация о возможных вариациях значений параметров задана в виде пределов их возможных значений

$$x_i^{\min} \leq x_i \leq x_i^{\max}, \quad x_i \geq 0, \quad i = \overline{1, n}; \quad (1)$$

условия работоспособности системы имеют вид

$$a_j \leq y_j(\mathbf{x}) \leq b_j, \quad j = 1, \dots, m, \quad (2)$$

где y_j – компоненты вектора \mathbf{y} выходных переменных; $a_j, b_j, j = 1, \dots, m$ – ограничения на его компоненты;

$$y_j = G_j(x_1, \dots, x_n), \quad (3)$$

где $G_j(\cdot)$ – известный оператор, зависящий от топологии исследуемого устройства. Область работоспособности $D_{\mathbf{x}}$, в которой выполняются условия (2), имеет произвольную конфигурацию и ориентацию в пространстве параметров.

Решением задачи оптимального проектирования является процесс выбора векторов \mathbf{x} параметров переменных из области работоспособности D_x , обеспечивающих экстремальное значение целевой функции $Q(\mathbf{x})$. В зависимости от цели проектирования это может быть максимум или минимум. Максимизация $Q(\mathbf{x})$ сводится к минимизации $-Q(\mathbf{x})$, поэтому, не нарушая общности рассмотрения, достаточно решать одну из них.

Пусть для определенности требуется найти

$$\min_{\mathbf{x} \in D_x} Q(\mathbf{x}). \quad (4)$$

Выражение (4) равнозначно следующей задаче оптимизации. Найти вектор $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n)$, обеспечивающий минимум

$$Q(\mathbf{x}) = Q(x_1, \dots, x_n) \quad (5)$$

при условиях (1) и

$$g_i(x_1, \dots, x_n) \leq 0, \quad i = 1, \dots, m, \quad (6)$$

где $Q(\mathbf{x})$ и $g_i(x_1, \dots, x_n)$, $i = 1, \dots, m$ – функции произвольного вида.

Для решения задачи (5)–(6), (1) при вероятностном характере критерия оптимальности оценивается возможность использования алгоритмов эволюционных вычислений (ЭВ).

Оптимальное решение \mathbf{x}^* находится из системы рекуррентных соотношений, описываемых для заданного начального приближения \mathbf{x}^0 выражением

$$\mathbf{x}^r = F_r[\mathbf{x}^0, Q(\mathbf{x}^0), g(\mathbf{x}^0); \dots; \mathbf{x}^{r-1}, Q(\mathbf{x}^{r-1}), g(\mathbf{x}^{r-1})], \quad r = 1, \dots, k. \quad (7)$$

После проведения k испытаний, связанных с определением из (7) векторов \mathbf{x}^r , приближенное значение Q^* выбирается из условия

$$Q^* = Q(\mathbf{x}^*) = \min_{0 \leq r \leq k} Q(\mathbf{x}^r), \quad (8)$$

а выражение (8), начальное приближение \mathbf{x}^0 и система соотношений (7) представляют математическую запись метода поисковой оптимизации, широко используемую в задачах оптимального проектирования.

Основные трудности решения связаны с вероятностным характером критерия оптимальности, дефицитом информации о случайных закономерностях процессов изменения параметров проектируемых систем, большой размерностью пространства варьируемых параметров [3].

В общих чертах эволюция описывается как многоступенчатый итерационный процесс, состоящий из случайных изменений и последующего отбора с последовательным преобразованием множества решений и использованием накопленной в процессе эволюции информации.

Алгоритмы ЭВ обеспечивают нахождение близких к оптимальным решений за приемлемое время. Их эффективность выявлена при исследовании эволюции системы в целом, при решении многомодальных задач большой размерности с использованием сочетания элементов случайности и детерминированности как в природе.

Методы поисковой оптимизации в условиях неопределенности

Рассматривается задача условной глобальной оптимизации функции $Q(\mathbf{x})$, $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n)$, $\mathbf{x} \in R^n$, в условиях неопределенности (в зависимости от конкретной постановки это может быть максимум или минимум). Максимизация $Q(\mathbf{x})$

сводится к минимизации $-Q(x)$, поэтому, не нарушая общности рассмотрения, достаточно решать одну из них. Пусть для определенности требуется найти

$$\min_{x \in D_x} Q(x) = Q(x^*) = Q^*, \quad (9)$$

где $D_x \subset R^n$ – область поиска; $Q(x)$ – целевая функция; x^* , Q^* – искомые оптимальный вектор x и значение целевой функции соответственно.

Имея итерационный характер, методы поисковой оптимизации используют только значения целевой функции и применимы к алгоритмически заданным функциям, а их алгоритмы сводятся к нахождению последовательности векторов, обеспечивающей получение оптимального значения. Они могут отличаться способом выбора направления вектора оптимизации и его длины, величины шага поиска, с помощью которых осуществляется выбор направления уменьшения (возрастания) целевой функции для ее приближения к экстремуму. Направление поиска может быть известно заранее (в детерминированных методах) или выбираться случайным образом (при случайном поиске). Начальным приближением может быть взята произвольная точка, но эффективнее ее выбирать как можно ближе к оптимуму на основе имеющейся информации [7].

В настоящее время разработан большой класс стохастических поисковых алгоритмов, называемых в разных источниках поведенческими, интеллектуальными, инспирированными природой, многоагентными, популяционными, эволюционными, роевыми и т.д. [7, 8]. Кроме того, высокоэффективны гибридные алгоритмы. Схемы поиска максимума алгоритмически заданных целевых функций с нелинейными функциями-ограничениями на параметры приведены в [9]. Различные способы гибридизации поисковых алгоритмов изложены в [10, 11].

Успешное решение указанных выше нелинейных задач оптимизации в условиях неопределенности тесно связано с учетом особенностей каждого конкретного случая, так как выбранный метод, удачный в одной ситуации, может не подходить в других, поэтому эффективным оказывается подход, основанный на многометодной технологии. Разработанные на его основе алгоритмы реализуются в виде параллельных итерационных процессов с выбором лучшего приближения для продолжения оптимизации до достижения требуемой точности. Среди них параллельные аналоги методов случайного поиска, относящиеся к методам иерархической оптимизации, параллельный аналог метода сканирования, оригинальная модификация алгоритма роя пчел из методов роевого интеллекта [12 – 14]. Каждый алгоритм имеет собственную стратегию поведения, его работа начинается с исследования поисковой области для выбора вариантов решения. Последующие этапы обеспечивают уточнение полученных результатов.

Корректная оценка эффективности алгоритма достигается несколькими прогонами с различными начальными приближениями, полученными после инициализации. Критериями оценки служат вероятность нахождения глобального экстремума, скорость сходимости и определение среднего необходимого числа прогонов (испытаний) [8]. Кроме того, эффективность алгоритмов этого класса существенно зависит от используемых свободных параметров (параметров, которые не могут указываться точно, а должны оцениваться экспериментально или теоретически). Общие способы их отбора отсутствуют, поэтому приходится рассматривать каждый конкретный случай, используя, например, диапазоны возможных значений параметров и выбор случайных значений с заданным распределением, а при экспериментальном оценивании использовать имитационное моделирование.

Входящие в рассматриваемый класс стохастических алгоритмов эволюционные вычисления включают алгоритмы поиска, оптимизации, обучения, основанные на определенных формализованных принципах естественного эволюционно-

го процесса [15]. Они обеспечивают вычисление целевой функции, оценку качества решений, селективный отбор решений, репродукцию новых решений [16]. Альтернативные решения рассматриваются как особи, их степень приспособленности определяется условиями задачи, а для их эволюции применяются операторы скрещивания, мутации и редукции (селекции или отбора) [7]. Основой этих алгоритмов служит базовый цикл, обеспечивающий параллелизм на уровне организации работы алгоритма и на уровне его компьютерной реализации, включая вычисление значений целевой функции на параллельных системах или процессорах для разных решений, параллельное выполнение операторов, пропорционально повышая скорость работы алгоритма [7, 8].

При использовании ФП-подхода из множества эволюционных алгоритмов выбраны эволюционные стратегии [7]. В них приспособление особей популяции к окружающей среде происходит на поведенческом уровне, что позволяет отказаться от рекомбинации особей и для поиска альтернативных решений использовать только оператор мутации, применяя естественный отбор для оптимизации набора параметров. Эволюционная стратегия включает математические преобразования, преобразующие входной поток информации в выходной, опираясь на имитацию механизмов эволюционного поиска, статистический подход к оценке возникающих ситуаций и итерационное приближение к искомому решению до момента удовлетворения заданным условиям поиска. При формировании новых наборов параметров вносятся случайные изменения в некоторые из параметров и по значениям целевых функций отбирается набор, соответствующий наилучшему результату.

Выбранная эволюционная стратегия оптимизации представима следующими шагами:

- 1) задается один или несколько исходных наборов параметров;
- 2) случайным образом изменяется ряд из них для получения заданного количества потомков;
- 3) из полученных наборов параметров выбираются родительские для создания следующего поколения родителей. Остальные наборы исключаются;
- 4) если цель оптимизации не достигнута, переход на шаг 2.

Проведенный анализ некоторых вариантов применения методов эволюционных вычислений в ФП-подходе показал, что гибридизация (комбинирование) различных алгоритмов ускоряет процесс решения [7 – 11, 17]. Среди них стоит отметить два способа гибридизации. Один из них – комбинирование определенного стохастического алгоритма, сканирующего пространство поиска, и детерминированного алгоритма локального поиска, используемого при недифференцируемых целевых функциях. Стохастический алгоритм выполняет общий поиск в допустимой области, а претендент на глобальный экстремум выбирается при локальном поиске детерминированным алгоритмом, и преимущества одного алгоритма компенсируют недостатки другого, повышая эффективность решения задач.

Другой способ гибридизации объединяет одинаковые алгоритмы при различных начальных приближениях и разных значениях имеющихся свободных параметров.

Представленные способы формирования гибридного алгоритма в каждом конкретном случае обеспечивают подбор последовательности шагов, приводящей к наиболее эффективному результату на всех этапах поиска. Кроме того, возможны одновременный анализ различных областей пространства решений, нахождение новых областей с улучшенными значениями целевой функции и осуществление поиска не из единственной точки, а из множества точек, накапливая и используя знания об исследованном пространстве поиска. При этом предусмотрены различные подходы к их распараллеливанию [18].

Сформулированная выше задача (9) может быть решена гибридной версией PSO-алгоритма, комбинирующей алгоритм роя частиц (*англ.* Particle Swarm Optimization Algorithm) и классический алгоритм поиска по сетке Grid Search (GS-алгоритм) [19]. Каждая итерация PSO-алгоритма в этой версии уточняет координаты глобально лучшей частицы в рое по GS-алгоритму поиска по сетке, обновляет текущую популяцию частиц роя заменой частицы с худшим значением оптимизируемой функции на лучшую частицу, найденную алгоритмом поиска по сетке. Гибридная версия PSO-алгоритма представима последовательностью следующих шагов [19].

1. Выбор начальных координат и скоростей частиц в рое; инициализация значений настраиваемых параметров (число частиц в рое, количество итераций алгоритма, границы диапазонов поиска).

2. Корректировка скорости каждой частицы и ее положения. Нахождение координат глобально лучшей частицы в рое.

3. Определение границ диапазонов поиска для GS-алгоритма с учетом разброса частиц в рое на текущей итерации и координаты глобально лучшей частицы в рое.

4. Уточнение координат глобально лучшей частицы в рое GS-алгоритмом поиска по сетке.

4.1. Разбиение диапазонов поиска, полученных на шаге 3, на интервалы для определения узлов сетки.

4.2. Вычисление значений оптимизируемой функции в узлах сетки и выбор узла, соответствующего наилучшему среди них.

4.3. Оценка возможности использования выбранного узла координатами новой глобально лучшей частицы в рое. Если да, переход к шагу 5, иначе – переход к шагу 6.

5. Принятие полученного на шаге 4 решения в качестве нового глобально-оптимального решения на текущей итерации алгоритма. Обновление популяции частиц в рое заменой худшей частицы роя на лучшую, полученную на шаге 4.

6. Переход к шагу 7 при выполнении условия останова (сделано максимальное количество итераций алгоритма или получен глобальный оптимум с заданной точностью), иначе – переход к шагу 2.

7. Принятие значений координат лучшей частицы роя искомым глобально-оптимальным решением и завершение работы гибридной версии PSO-алгоритма.

Гибридизация базового PSO-алгоритма с алгоритмом поиска по сетке позволяет сократить временные затраты.

Заключение

В результате анализа возможности привлечения функционально-параметрического подхода к схемотехническому проектированию аналоговых технических устройств и систем с учетом случайных процессов изменения их параметров и требований надежности выявлены трудности, обусловленные отсутствием или недостатком информации о возмущающих воздействиях, влиянием внешних факторов на протекающие в них процессы.

Обоснованы возможности применения алгоритмов поисковой оптимизации, допускающих распараллеливание вычислительных процессов, использования эволюционных вычислений при вероятностном характере критерия оптимальности, нелинейности целевой функции и ограничений на нее. Кроме того, в условиях неполной или недостаточной информации об оптимизируемых функциях предложено использование технологии гибридизации алгоритмов на основе многометодной технологии в виде параллельных итерационных процессов, которая дает возможность модифицировать известные алгоритмы, учитывая специфику рассматриваемого объекта.

Список литературы

1. Антипенский, Р. В. Схемотехническое проектирование и моделирование радиоэлектронных устройств / Р. В. Антипенский, А. Г. Фадин. – М. : Техносфера, 2007. – 128 с.
2. Гудилов, В. В. Эволюционное проектирование сложных систем / В. В. Гудилов // Информатика, вычислительная техника и инженерное образование. – 2011. – № 1 (3). – С. 11 – 34.
3. Абрамов, О. В. Методы и алгоритмы параметрического синтеза стохастических систем / О. В. Абрамов // Проблемы управления. – 2006. – № 4. – С. 3 – 8.
4. Абрамов, О. В. Возможности и перспективы функционально-параметрического направления теории надежности / О. В. Абрамов // Информатика и системы управления. – 2014. – № 4 (42). – С. 64 – 77.
5. Абрамов, О. В. Программно-алгоритмический комплекс построения, анализа и использования областей работоспособности / О. В. Абрамов, Д. А. Назаров // Информ. технологии и вычислительные системы. – 2015. – № 2. – С. 3 – 13.
6. Карпенко, А. П. Современные проблемы параметрической оптимизации проектных решений в САПР / А. П. Карпенко // Сб. тр. XIII Всерос. совещания по проблемам управления ВСПУ-2019, 17 – 20 июня 2019 г., Москва. – М., 2019. – С. 3161 – 3166. doi: 10.25728/vspu.2019.3166
7. Карпенко, А. П. Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой : учеб. пособие / А. П. Карпенко. – М. : Изд-во Московского гос. техн. ун-та им. Н. Э. Баумана, 2014. – 448 с.
8. Родзин, С. И. Поиск оптимальных решений комбинаторных задач: теория, эволюционные алгоритмы и их приложения для проблемно-ориентированных информационных систем / С. И. Родзин, О. Н. Родзина // Информатика, вычислительная техника и инженерное образование. – 2014. – № 4 (19). – С. 18 – 33.
9. Диго, Г. Б. Применение эволюционных вычислений при управлении параметрической надежностью аналоговых технических устройств и систем / Г. Б. Диго, Н. Б. Диго // Информатика и системы управления. – 2018. – № 4 (58). – С. 70 – 81. doi: 10.22250/isu.2018.58.70-81
10. Карпенко, А. П. Гибридный алгоритм глобальной оптимизации на основе алгоритмов искусственной иммунной системы и роя частиц. – Текст : электронный / А. П. Карпенко, Н. О. Щербакова, В. А. Буланов // Наука и образование : электрон. науч.-техн. журнал. – 2014. – № 3. – С. 255 – 274. – URL : <http://engineering-science.ru/doc/700457.html> (дата обращения 18.08.2021).
11. Сулимов, В. Д. Применение гибридных алгоритмов глобальной оптимизации к экстремальным задачам для гидромеханических систем. – Текст : электронный / В. Д. Сулимов, П. М. Шкапов // Наука и образование : электрон. науч.-техн. журнал. – 2013. – № 11. – С. 141 – 158. – URL : <http://engineering-science.ru/doc/604082.html> (дата обращения 18.08.2021).
12. Абрамов, О. В. Об использовании эвристических алгоритмов в задачах оптимального параметрического синтеза / О. В. Абрамов, А. Д. Лагунова // Информатика и системы управления. – 2021. – № 2 (68). – С. 34 – 46. doi: 10.22250/isu.2021.68.34-46
13. Назаров, Д. А. Использование областей работоспособности для анализа деградационных изменений параметров систем / Д. А. Назаров // Тр. Международ. симпозиума «Надежность и качество» – 2020. – Т. 1. – С. 130 – 133.
14. Назаров, Д. А. Использование генетического алгоритма с целочисленным кодированием для решения задачи параметрического синтеза / Д. А. Назаров // Информатика и системы управления. – 2019. – № 3 (61). – С. 68 – 80. doi: 10.22250/isu.2019.61.68-80
15. Мелихова, О. А. Использование эволюционных вычислений в системах принятия решений / О. А. Мелихова, З. А. Мелихова // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2008. – № 4 (81). – С. 32 – 35.

16. Курейчик, В. В. Концепция эволюционных вычислений, инспирированных природными системами / В. В. Курейчик, В. М. Курейчик, С. И. Родзин // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 4 (93). – С. 16 – 24.

17. Диго, Г. Б. Возможности использования эволюционного моделирования в прогнозировании технического состояния систем ответственного назначения / Г. Б. Диго, Н. Б. Диго // Информатика и системы управления. – 2017. – № 4 (54). – С. 81 – 93. doi: 10.22250/isu.2017.54.81-93

18. Абрамов, О. В. Использование технологии параллельных и распределенных вычислений в системах автоматизированного проектирования / О. В. Абрамов // Вестн. Дальневосточного отделения РАН. – 2021. – № 4 (218). – С. 110 – 118. doi: 10.37102/0869-7698_2021_218_04_12

19. Демидова, Л. А. Разработка и исследование гибридных версий алгоритма роя частиц на основе алгоритмов поиска по сетке / Л. А. Демидова, И. А. Ключева // Вестн. Рязанского гос. радиотехн. ун-та. – 2016. – № 57. – С. 105 – 116. doi: 10.21667/1995-4565-2016-57-3-105-116

Selection of Design Solutions at the Optimization Stage under Conditions of Uncertainty on the Basis of a Functional-Parametric Approach

G. B. Digo, N. B. Digo

*Institute for Automation and Control processes, Far Eastern Branch
of Russian Academy of Sciences, bernatsk@iacp.dvo.ru, Vladivostok, Russia*

Keywords: computer-aided design; hybrid search algorithms; optimal parametric synthesis; computation parallelizing; evolutionary computations.

Abstract: The paper considers the problem of circuit design of analog technical devices and systems taking into account random processes of changing their parameters and requirements of reliability. The difficulties that arise when using a functional-parametric approach with a problem area in the form of optimal parametric synthesis in conditions of a shortage of initial information are analyzed. The possibility of reducing the computational complexity through the use of preliminary analysis of the source data, parallel and distributed computing technology is evaluated. The evolutionary synthesis algorithm under the existing conditions is described, some ways to overcome the difficulties that arise at the optimization stage are proposed. The possibility of using evolutionary computations with the probabilistic nature of the optimality criterion, the nonlinearity of the objective function and the restrictions on it is estimated.

References

1. Antipenskiy R.V., Fadin A.G. *Skhemotekhnicheskoye proyektirovaniye i modelirovaniye radioelektronnykh ustroystv* [Schematic design and modeling of radio-electronic devices], Moscow: Tekhnosfera, 2007, 128 p. (In Russ.)

2. Gudilov V.V. [Evolutionary design of complex systems], *Informatika, vychislitel'naya tekhnika i inzhenernoye obrazovaniye* [Informatics, computer technology and engineering education], 2011, no. 1 (3), pp. 11-34. (In Russ., abstract in Eng.)

3. Abramov O.V. [Methods and algorithms for parametric synthesis of stochastic systems], *Problemy upravleniya* [Control problems], 2006, no. 4, pp. 3-8. (In Russ., abstract in Eng.)

4. Abramov O.V. [Possibilities and prospects of the functional-parametric direction of the theory of reliability], *Informatika i sistemy upravleniya* [Informatics and control systems], 2014, no. 4 (42), pp. 64-77. (In Russ., abstract in Eng.)

5. Abramov O.V., Nazarov D.A. [Software-algorithmic complex for construction, analysis and use of areas of performance], *Informatsionnyye tekhnologii i vychislitel'nyye sistemy* [Information technologies and computing systems], 2015, no. 2, pp. 3-13. (In Russ.)
6. Karpenko A.P. [Modern problems of parametric optimization of design solutions in CAD], *Sbornik trudov XIII Vserossiyskogo soveshchaniya po problemam upravleniya VSPU-2019* [Proceedings of the XIII All-Russian meeting on control problems of the VSPU-2019], 17 - 20 June, 2019, Moscow, 2019, pp. 3161-3166, doi: 10.25728/vspu.2019.3166 (In Russ.)
7. Karpenko A.P. *Sovremennyye algoritmy poiskovoy optimizatsii. Algoritmy, vdokhnovlennyye prirodoy: uchebnoye posobiye* [Modern search optimization algorithms. Algorithms inspired by nature: a tutorial], Moscow: Izdatel'stvo Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N. E. Baubana, 2014, 448 p. (In Russ.)
8. Rodzin S.I., Rodzina O.N. [Search for optimal solutions of combinatorial problems: theory, evolutionary algorithms and their applications for problem-oriented information systems], *Informatika, vychislitel'naya tekhnika i inzhenernoye obrazovaniye* [Informatics, computer technology and engineering education], 2014, no. 4 (19), pp. 18-33. (In Russ., abstract in Eng.)
9. Digo G.B., Digo N.B. [Application of evolutionary computations in the control of parametric reliability of analog technical devices and systems], *Informatika i sistemy upravleniya* [Informatics and control systems], 2018, no. 4 (58), pp. 70-81, doi: 10.22250/isu.2018.58.70-81 (In Russ., abstract in Eng.)
10. <http://engineering-science.ru/doc/700457.html> (accessed 18 August 2021).
11. <http://engineering-science.ru/doc/604082.html> (accessed 18 August 2021).
12. Abramov O.V., Lagunova A.D. [On the use of heuristic algorithms in problems of optimal parametric synthesis], *Informatika i sistemy upravleniya* [Informatics and Control Systems], 2021, no. 2 (68), pp. 34-46, doi: 10.22250/isu.2021.68.34-46 (In Russ., abstract in Eng.)
13. Nazarov D.A. [The use of performance areas for the analysis of degradation changes in system parameters], *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma «Nadezhnost' i kachestvo»* [Proceedings of the International Symposium "Reliability and Quality"], 2020, vol. 1, pp. 130-133.
14. Nazarov D.A. [Using a genetic algorithm with integer coding for solving the problem of parametric synthesis], *Informatika i sistemy upravleniya* [Informatics and Control Systems], 2019, no. 3 (61), pp. 68-80, doi: 10.22250/isu.2019.61.68-80 (In Russ., abstract in Eng.)
15. Melikhova O.A., Melikhova Z.A. [The use of evolutionary computations in decision-making systems], *Izvestiya YUFU. Tekhnicheskiye nauki* [News SFU. Technical Science], 2008, no. 4 (81), pp. 32-35. (In Russ., abstract in Eng.)
16. Kureychik V.V., Kureychik V.M., Rodzin S.I. [The concept of evolutionary calculations inspired by natural systems], *Izvestiya YUFU. Tekhnicheskiye nauki* [News SFU. Technical Science], 2009, no. 4 (93), pp. 16-24. (In Russ., abstract in Eng.)
17. Digo G.B., Digo N.B. [Possibilities of using evolutionary modeling in predicting the technical state of critical systems], *Informatika i sistemy upravleniya* [Informatics and Control Systems], 2017, no. 4 (54), pp. 81-93, doi: 10.22250/isu.2017.54.81-93 (In Russ., abstract in Eng.)
18. Abramov O.V. [The use of parallel and distributed computing technology in computer-aided design systems], *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossiyskoy Akademii nauk* [Bulletin of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences], 2021, no. 4 (218), pp. 110-118, doi: 10.37102/0869-7698_2021_218_04_12 (In Russ., abstract in Eng.)

19. Demidova L.A., Klyuyeva I.A. [Development and research of hybrid versions of the particle swarm algorithm based on grid search algorithms], *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Ryazan State Radio Engineering University], 2016, no. 57, pp. 105-116, doi: 10.21667/1995-4565-2016-57-3-105-116 (In Russ., abstract in Eng.)

Auswahl von Projektlösungen in der Optimierungsphase unter Unbestimmtheit auf der Grundlage des funktionell-parametrischen Ansatzes

Zusammenfassung: Es sind die Probleme der Projektierung analoger elektronischer Schaltungen unter Berücksichtigung der stochastischen Muster der Veränderung ihrer Parameter und der Zuverlässigkeitsanforderungen betrachtet. Die Schwierigkeiten, die bei der Verwendung des funktionell-parametrischen Ansatzes mit dem Problembereich in Form einer optimalen parametrischen Synthese unter Bedingungen des Mangels an Quelleninformationen auftreten, sind analysiert. Es ist die Einschätzung über die Möglichkeit gegeben, die Berechnungskomplexität durch eine vorläufige Analyse der Ausgangsdaten, Technologien des parallelen und verteilten Rechnens zu reduzieren. Es ist die Beschreibung des evolutionären Syntheseargorithmus unter bestehenden Bedingungen vorgestellt, einige Möglichkeiten zur Überwindung der Schwierigkeiten, die während der Optimierungsphase auftreten, sind vorgeschlagen. Die Möglichkeit, evolutionäre Berechnungen mit dem Wahrscheinlichkeitscharakter des Kriteriums für Optimalität, Nichtlinearität und Einschränkungen der Zielfunktion zu verwenden, ist bewertet.

Choix des solutions de conception pendant la phase d'optimisation dans un contexte d'incertitude de l'approche fonctionnelle-paramétrique

Résumé: Sont examinés les problèmes de conception des circuits électroniques radio analogiques en tenant compte des modèles stochastiques de la modification de leurs paramètres et des exigences de fiabilité. Sont analysées les difficultés rencontrées lors de l'utilisation d'une approche fonctionnelle-paramétrique avec un domaine de problème sous la forme d'une synthèse paramétrique optimale dans des conditions de manque d'informations de base. Est évaluée la possibilité de réduire la complexité numérique en utilisant l'analyse préliminaire des données brutes, des technologies de calcul parallèle et distribué. Est présentée une description de l'algorithme évolutif de synthèse dans les conditions existantes; sont proposés des moyens pour surmonter les difficultés rencontrées au stade de l'optimisation. Est évaluée la possibilité d'utiliser des calculs évolutifs en fonction de la nature probabiliste du critère d'optimalité, de la non-linéarité de la fonction cible et de ses contraintes.

Авторы: *Дуго Галина Борисовна* – ведущий инженер-математик лаборатории управления надежностью сложных систем; *Дуго Наталья Борисовна* – ведущий инженер-математик лаборатории управления надежностью сложных систем, ФГБУН «Институт автоматизации и процессов управления Дальневосточного отделения РАН», Владивосток, Россия.