

Л.А. Гладков, Н.В. Гладкова, М.Д. Ясир

ГИБРИДНЫЙ ПОДХОД К СОВМЕСТНОМУ РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ РАЗМЕЩЕНИЯ И ТРАССИРОВКИ*

В статье предложен интегрированный подход к решению задач размещения и трассировки элементов схем электронной вычислительной аппаратуры. Подход основан на совместном решении задач размещения и трассировки с использованием нечетких генетических методов. Приведено описание рассматриваемой проблемы и выполнен краткий анализ существующих подходов к ее решению. В статье рассматриваются интегрированные подходы к решению оптимизационных задач автоматизированного проектирования схем цифровой электронно-вычислительной аппаратуры. Подчеркнута актуальность и важность разработки новых эффективных методов решения подобных задач. Отмечено, что важным направлением развития методов оптимизации является разработка гибридных методов и подходов, сочетающих достоинства различных методов вычислительного интеллекта. В статье описаны следующие основные моменты: структура предлагаемого алгоритма и его основные этапы; модифицированные генетические операторы кроссовера; предложены модели формирования текущей популяции; модифицированные эвристики, операторы и стратегии поиска оптимальных решений. Приведены результаты вычислительных экспериментов. Проведенные эксперименты подтверждают эффективность предложенного подхода. В заключении приводится краткий анализ полученных результатов.

Системы автоматизированного проектирования; задачи проектирования; эволюционные вычисления; нечеткие генетические алгоритмы; контроллер нечеткой логики; биоинспирированные алгоритмы; гибридные методы.

L.A. Gladkov, N.V. Gladkova, M.J. Yasir

HYBRID APPROACH THE JOINT SOLUTION OF PLACEMENT AND TRACING PROBLEMS

The article proposes an integrated approach to solving the problems of placing and tracing elements of circuits of electronic computing equipment. The approach is based on the joint solution of placement and tracing problems using fuzzy genetic methods. A description of the problem under consideration is given and a brief analysis of existing approaches to its solution is performed. The article discusses integrated approaches to solving optimization problems of computer-aided design of digital electronic computing equipment circuits. The urgency and importance of developing new effective methods for solving such problems is emphasized. It is noted that an important direction in the development of optimization methods is the development of hybrid methods and approaches that combine the advantages of various methods of computational intelligence. The article describes the following main points: the structure of the proposed algorithm and its main stages; modified genetic crossover operators; models for the formation of the current population are proposed; modified heuristics, operators and strategies for finding optimal solutions. The results of computational experiments are presented. The experiments carried out confirm the effectiveness of the proposed approach. In conclusion, a brief analysis of the results obtained is given.

Computer-aided design systems; design tasks; evolutionary computing; fuzzy genetic algorithms; fuzzy logic controller; bioinspired algorithms; hybrid methods.

Введение. Современные тенденции научно-технического развития включают постоянное усложнение систем управления и технологических процессов. Это стимулирует разработчиков создавать и внедрять новые инструменты для повышения эффективности систем проектирования.

* Исследование выполнено при поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-07-01054.

Проектирование является важным шагом в цикле компьютерного проектирования цифровых устройств. Среди основных задач этапа проектирования – задачи разбиения, размещения и трассировки [1, 2]. В современных средствах автоматизированного проектирования успешно применяются эволюционные и генетические методы и подходы. Эволюционные методы особенно эффективны при решении комбинаторных задач большой размерности, когда достаточно найти одно или несколько квазиоптимальных решений, удовлетворяющих заданным ограничениям [3–5].

Одним из современных направлений в науке является создание интегрированных и гибридных моделей и методов. Гибридную систему можно рассматривать как систему, которая содержит две или более интегрированные гетерогенные подсистемы (разных видов), которые объединены совместными действиями (хотя эти подсистемы могут иметь различную природу) [6, 7].

Интеграция и гибридизация различных методов проектирования позволяют нам решать сложные проблемы, которые не могут быть решены каким-либо конкретным методом и технологией [8, 9].

В настоящее время также активно развивается научное направление по разработке моделей и методов гибридных принципов нечеткого управления и поисковых способностей биоинспирированных методов. Можно выделить два основных подхода к использованию таких гибридных методов [10–12]:

1. Использовать эволюционные алгоритмы для решения задач оптимизации и поиска в условиях нечеткой, неоднозначной или недостаточной информации об объекте, параметрах критериев решаемых задач [10–12].

2. Использовать методы, основанные на нечеткой логике, для моделирования структуры и операторов эволюционных алгоритмов, для управления и адаптации параметров эволюционных алгоритмов [13, 14].

Рассмотрим второй подход. Для контроля и настройки параметров эволюционного алгоритма мы предлагаем включить нечеткий логический контроллер (НЛК), который использует опыт и знания экспертов в рассматриваемой области и может динамически изменять параметры поиска [13, 14]. Система правил производства на основе рассуждений и знаний выполняет логическое заключение, которое превращается в управляющие действия после дефазсификации. Изменение параметров алгоритма приводит к изменению процесса поиска и получению новых результатов, которые преобразуются в нечеткие множества в блоке нечеткости Система правил производства на основе рассуждений и знаний выполняет логическое заключение, которое превращается в управляющие действия после дефазсификации. Изменение параметров алгоритма приводит к изменению процесса поиска и получению новых результатов, которые преобразуются в нечеткие множества в блоке нечеткости [15, 16]

Также используются следующие инструменты: нечеткие операторы и нечеткие правила для создания генетических операторов с различными свойствами; нечеткая логическая система управления параметрами генетического алгоритма в соответствии с принятыми критериями; нечеткие критерии останова процесса генетического поиска. Математический аппарат теории нечетких систем используется в данном случае для кодирования, выбора оптимальных параметров генетических алгоритмов, значений вероятностей генетических операторов, функции пригодности и критерия останова, а также создания нечетких генетических операторов [15, 16].

Целью данной статьи является разработка гибридного алгоритма для эффективного решения сложных многокритериальных задач проектирования, таких как размещение, трассировка. [10–16].

Постановка задачи. Интеграция различных направлений научных исследований, отсутствие четких границ проблемной области, и, наконец, использование соответствующего инструментария, позволяет рассматривать научное направление «вычислительный интеллект» в качестве актуальной междисциплинарной научной области.

Гибридные системы состоят из различных элементов (компонентов), объединенных в интересах достижения поставленных целей. Интеграция различных методов и технологий позволяет решать сложные задачи, которые невозможно решить на основе каких-либо отдельных методов или технологий. В гибридной архитектуре, объединяющей несколько парадигм, эффективность одного подхода может компенсировать слабость другого. Комбинируя различные подходы, можно обойти недостатки, присущие каждому из них в отдельности. Этот эффект принято называть синергетическим [4, 6].

В задаче размещения определяется оптимальная конфигурация позиций с точки зрения взаимного расположения элементов и связей между ними. При этом должны быть соблюдены заданные конструктивные и технологические ограничения. Условно проблему размещения можно разделить на две части: определение взаимного расположения элементов конструкции на рабочем поле и оценка возможной длины соединений между ними.

При таком подходе проблема размещения сводится к поиску оптимального положения элементов и внешних контактов. В ряде алгоритмов размещение элементов выполняется без учета их связей с внешними выводами, поэтому элементы со ссылками на внешние выводы могут находиться на значительном расстоянии от них, что затрудняет отслеживание последующих соединений. Исходными данными для задачи размещения являются: список элементов схемы с учетом их соединений, параметры метрики и топологические свойства поля.

Основная сложность в постановке задачи определения местоположения заключается в выборе целевой функции. Это связано с тем, что одной из основных целей размещения является создание наилучших условий для дальнейшего решения задачи трассировки, что невозможно точно установить без выполнения самой трассировки. Таким образом, оптимальный результат может быть достигнут только с помощью одновременного решения задач размещения, выбора приоритетов прокладки соединений и оценочной трассировки, что практически невозможно из-за огромных затрат компьютерного времени.

Поэтому все алгоритмы, используемые в настоящее время с использованием временных критериев, лишь косвенно помогают решить основную проблему: получения оптимальной конфигурации соединений.

Для оценки качества решения задач размещения и трассировки используются следующие критерии [2]:

- ◆ общая длина взвешенных соединений;
- ◆ количество соединений превышающих заданную длину;
- ◆ количество пересечений проводников;
- ◆ количество соединений между элементами, которые находятся в соседних позициях или в позициях которые указывает разработчик.

Критерий, наиболее распространенный в алгоритмах размещения, является первым. Это объясняется следующими факторами: уменьшение длины связи может улучшить электрические характеристики цепи; упрощает процесс отслеживания; и это относительно просто реализовать.

Отслеживание соединений, как правило, является завершающей стадией конструирования электронно-вычислительного оборудования. Задача состоит в определении линий, соединяющих эквипотенциальные контактные элементы, то есть проектируемое устройство.

Исходными данными задачи являются: множество конструктивных элементов $E = \{e_i \mid i = 1, \dots, N\}$, множество соединяющих их цепей $C = \{c_k \mid k = 1, K\}$ и множество фиксированных положений для размещения элементов $S = \{s_j \mid j = 1, M\}$, where $M \geq N$. Нам нужно найти отображение множества E на множество T , при котором достигается экстремум целевой функции F .

Пусть задан набор ячеек $E = (e_1, \dots, e_n)$, при чем ячейка e_1 имеет длину в горизонтальном направлении a_1 . Оптимизация выполняется в два этапа: построение исходного размещения и его улучшение.

Первая ячейка размещается в строке $e_x \in E$, для которой число цепей, объединяющих ее с другими ячейками из E , является максимальным. Положительные ячейки e_x не фиксированы. На каждом из следующих $n-1$ шагов у нас есть набор размещенных ячеек E_h , набор неразмещенных ячеек E_k и набор возможных положений $S_h = (s_1, \dots, s_k)$ размещения ячеек в ряду $e_i \in E_h$ (рис. 1):

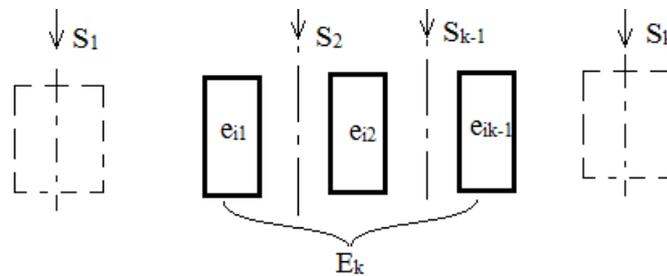


Рис. 1. Позиции для размещения элементов

Есть два положения s_1 и s_h , слева и справа от размещенных элементов и промежуточных положений s_2, \dots, s_{k-1} . Обозначим через V_{ik} множество цепей, соединяющих ячейку e_i и ячейку из E_h . На k -м шаге общая длина соединений для цепей V_{ik} рассчитывается при условии, что ячейка e_i находится в положении s_j ($j = 1, \dots, k$):

$$L_{ij} = \sum_{u_i \in V_{ik}} (x_{i_{max}} - x_{i_{min}})$$

где $x_{i_{max}}$ and $x_{i_{min}}$ координаты крайнего правого и левого выходов цепи v_i с линейным расположением ячеек $E_k \cup e_i$. Координаты рассчитываются с учетом размера ячеек и изменения положения ячеек в случае размещения ячеек в промежуточном положении.

Следующий шаг алгоритма состоит в выборе ячейки $e_i^* \in \overline{E_k}$ в позиции S_j^* , для некоторых:

$$L_{i^*j^*} = \max_{e_i \in \overline{E_k}} \min_{s_j \in S_k} L_{ij}$$

После размещения всех ячеек множества E мы фиксируем их координаты в ряду.

Этот алгоритм используется совместно с алгоритмами разбиения ячеек на строки или блоки. Таким образом, создание строк или блоков и размещение их в ячейках будет происходить одновременно [8].

Для решения задачи размещения существует множество цепей, которые делят множество B на выходы элементов на непересекающиеся подмножества B_i , которые $B = \{B_i \mid i = 1, M\}$, $B_i = \{b_i, k = 1 / k_i\}$, где M – количество цепей; k_i – количество контактов, соединяемых i -й цепью. Пространство, представленное множеством $E = \{E_r \mid r = 1, R\}$.

В процессе улучшения исходного размещения мы будем использовать оценку качества полученной трассировки соединений. Эта оценка включает в себя следующие два критерия, такие как количество дорожек и общая неспособность связаться с контактами. На основе оценки качества трассировки разработанная программа может улучшить результат по этапу размещения или отобразить результат на экране.

Целевая функция Q является нормализованным аддитивным критерием:

$$Q = k_1q_1 + k_2q_2,$$

где k_1, k_2 – весовые коэффициенты используемых критериев; q_1 – число непроведенных соединений, q_2 – общая длина соединений.

В процессе проектирования, как правило, используются оценочные (приблизительные) значения данных. При этом их истинные значения этих данных становятся известны только после последующих процедур. Это обуславливает итеративный процесс проектирования с возвратами с последующих этапов предыдущих, конечно, значительно увеличивает стоимость проектирования. Поэтому поиск методов уменьшения количества итераций в цикле проектирования продолжается и задача разработки комплексных методов решения задач размещения и маршрутизации является актуальной. Такие методы должны позволять выполнять эти задачи за один цикл с учетом взаимного влияния ограничения и текущих результатов.

Для решения многокритериальной задачи размещения элементов с учетом последующей трассируемости предлагается использовать нечеткий генетический алгоритм [5, 9]. Для этого необходимо решить следующие задачи:

- ◆ разработать метод кодирования хромосомы с использованием действительных чисел;
- ◆ разрабатывать новые поколения поисковых стратегий на основе минимального разрыва между поколениями моделей и синтеза поколений;
- ◆ разработать новый оператор кроссовера: «восхождение на гору», основанный на методе градиентных методов, а также модифицированные арифметические операторы и линейный кроссовер;
- ◆ определить граничные условия и целевую функцию задачи;
- ◆ определить структуру генетического алгоритма с помощью реальных решений кодирования;
- ◆ разработать программное обеспечение для решения проблемы;
- ◆ проводить вычислительные эксперименты и анализировать полученные результаты.

Описание алгоритма. На основе анализа существующих методов и алгоритмов решения задач размещения и трассировки была предложена следующая процедура совместного решения этих задач.

1. Ввод исходных данных (количество элементов каждого типа, количество цепей, количество контактов и т.д.).
2. Настройка начального размещения элементов.
3. Построение начального набора решений (население).
4. Установка начальных значений параметров контроля генетического алгоритма.
5. Порядок повышения качества размещения с использованием нечетких генетических операторов:
 - 5.1. подбор решений для выступления операторов;

- 5.2. стратегия поиска компромиссов;
- 5.3. применение генетических операторов;
- 5.4. подбор лучших решений;
- 5.5. формирование нового набора решений.
6. Выбор и использование указанного алгоритма маршрутизации.
7. Расчет полученных значений целевой функции.
8. Проверка критерия останова.
9. Работа нечеткой логики контроллера, изменение параметров алгоритма управления.
10. Возврат к шагу 5, чтобы улучшить текущее размещение, или конец алгоритма.

Генетическая информация о процедурах размещения сохраняется в буфере после каждой итерации улучшения размещения элементов схемы. Затем проводится оценочная трассировка с использованием одного из известных алгоритмов (например, лучевого алгоритма), определяется оценка качества полученного решения и, при необходимости, возврат к этапу размещения.

Для повышения качества размещения используется нечеткий генетический алгоритм с решениями на основе вещественного кодирования [17–20].

Использование вещественного кодирования может повысить точность найденных решений и скорость нахождения экстремума.

Структура хромосомы представляет собой вектор действительных чисел, соответствующий координатам (x и y) позиций рабочего поля, где расположены элементы схемы, например.

$$x/0.63222/0.16464/0.9325\dots$$

$$y/0.13334/0.46561/0.7568\dots$$

Длина хромосомы равна числу позиций, и каждый ген соответствует одному элементу. Позиционирование для размещения следующего элемента выполняется таким образом, чтобы фактическая длина приращения была минимальной.

После определения нужной точки производится поиск ближайшей доступной позиции и размещение в эту позицию выбранного элемента. Предложенный метод не приводит к генерации «нелегальных решений».

Назначение элементов продолжается до тех пор, пока не будет выполнено заранее определенное количество итераций. При кодировании определяются сразу две хромосомы: первая определяет порядок размещения элементов, а вторая – ориентацию рабочего поля.

Для повышения эффективности поиска предлагаются две модифицированные модели формирования новой популяции: модель, основанная на сохранении минимального разрыва между поколениями и модель обобщения поколений [17, 20].

Схема процедуры создания новой популяции представлена на рис. 2.

Также было предложено использовать в разработанном алгоритме модифицированные генетические операторы, позволяющие оперировать с вещественными числами. В алгоритме используется модифицированный оператор поиска экстремума «Hill-Climbing» на основе градиента локальных методов поиска [19, 20]. Также были использованы два модифицированных оператора кроссинговера: арифметический и линейный операторы кроссинговера [18, 20].

В процессе использования оператора кроссинговера «Hill-Climbing» проводилось сравнение результатов его работы с результатами работы арифметического и линейного кроссинговеров. Результаты сравнения показаны на рис. 3–8.

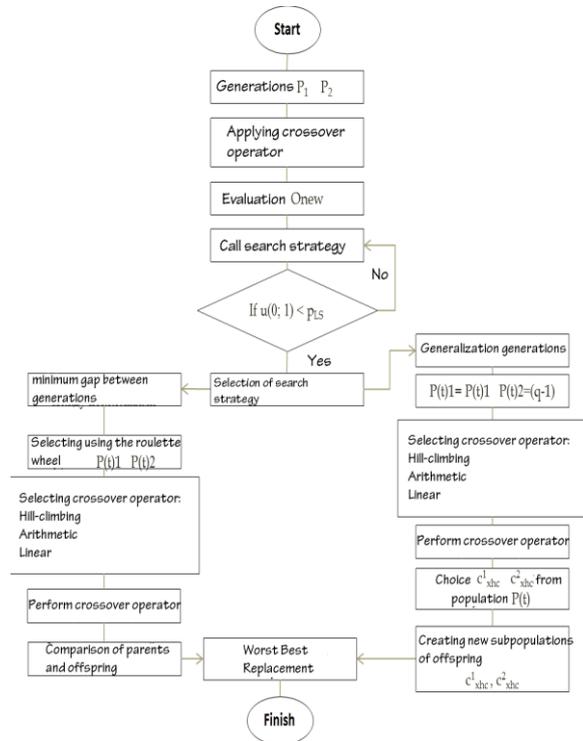


Рис. 2. Обобщенная схема работы процедуры создания новой популяции

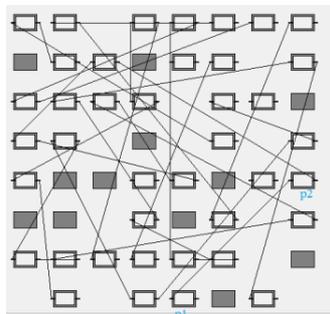


Рис. 3. Родительские хромосомы P1 и P2

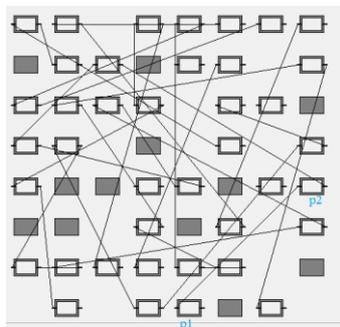


Рис. 4. Оценка потомков O1 и O2

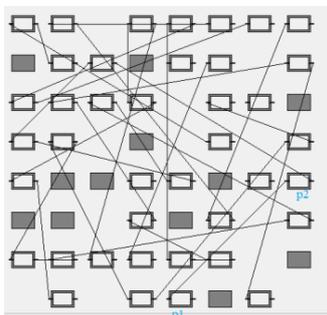


Рис. 5. Начальное размещение элементов

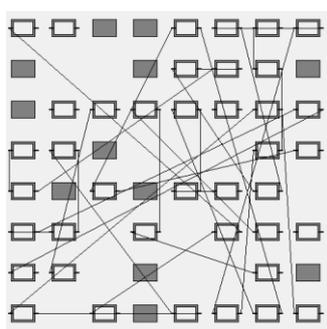


Рис. 6. Результат применения кроссингвера "hill-climbing"

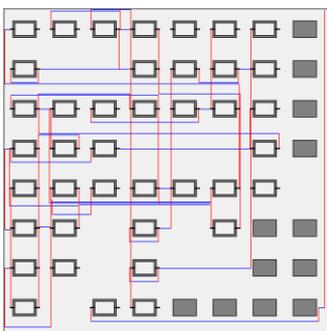


Рис. 7. Решение, полученное с применением арифметического оператора кроссингвера

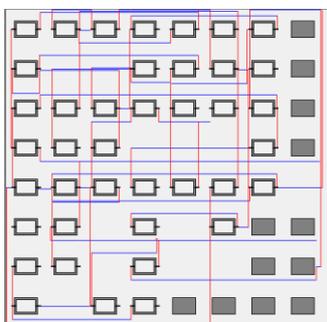


Рис. 8. Решение, полученное с применением линейного оператора кроссингвера

Отметим, что наилучшие результаты получены при использовании оператора кроссовера «восхождение на гору». Кроме того, преимуществом использования метода градиента является простота реализации и возможность начать процесс поиска и оптимизации с любыми действительными и не обязательно с эталонными решениями.

Модифицированный неоднородный оператор мутации также предоставляется. Неоднородный оператор мутации – это оператор, с помощью которого решения в алгоритме модифицируются таким образом, что на начальном этапе алгоритм поиска предоставляет униформу, а затем пытается улучшить результаты локально оптимальных решений.

Стратегия инцеста используется как механизм самоадаптивного мутационного оператора. Он заключается в том, что плотность мутаций (каждый ген вероятности мутации) определяется для каждого ребенка на основе его близких генетических родителей. Например, это может быть отношение количества совпадающих генов родительских хромосом к общему количеству генов. В результате инцеста, на начальных этапах алгоритм очень мал с большим разнообразием генофонда популяции с вероятностью мутации, то есть почти будет происходить кроссинговер. При уменьшении разнообразия, возникающем в случае попадания в локальный оптимальный алгоритм, вероятность будет увеличивать мутацию. Очевидно, что полный спуск населения будет стохастическим алгоритмом, поэтому вероятность выхода из местного населения увеличит оптимум.

Механизм реализации оператора можно представить следующим образом: когда значение гена y_i , изменяется, новое значение y'_i случайным образом генерируется в интервале $[min_i, max_i]$,

$$y'_i = \begin{cases} y_i + (max_i - y_i)(1 - r(1 - \frac{1}{T})^b), & \text{если } q = 0, \\ y_i - (y_i - min_i)(1 - r(1 - \frac{1}{T})^b), & \text{если } q = 1. \end{cases}$$

где q – случайные значения в интервале от 0 до 1;
 r – случайные значения в интервале от 0 до 1;
 t – число итераций;
 T – максимальное число поколений;
 b – параметр, в зависимости от условий задачи;
 min_i и max_i – верхний и нижний пределы для значения y .

После применения генетических операторов рассчитывается значение целевой функции. Процесс повторяется до тех пор, пока не будут выполнены заданные критерии останова.

Для ускорения процесса поиска в алгоритме используется контроллер нечеткой логики. Используя набор хромосом и их целевые функции, мы можем установить определенный диапазон значений целевой функции, который нам нужен. С помощью лингвистических переменных мы можем изменять значения управляющих параметров алгоритма (рис. 9).

Результаты компьютерных экспериментов. На основе предложенных алгоритмов, методов и процедур была выполнена программная реализация для комплексного решения задач размещения и трассировки. Поиск оптимальных решений осуществляется с использованием двух вариантов стратегии поиска. Кроме того, предусмотрена возможность распараллеливания серии вычислительных экспериментов, и для каждого варианта можно выбрать собственные параметры [13–14]. Результаты проведенных серий экспериментов показаны на рис. 10.

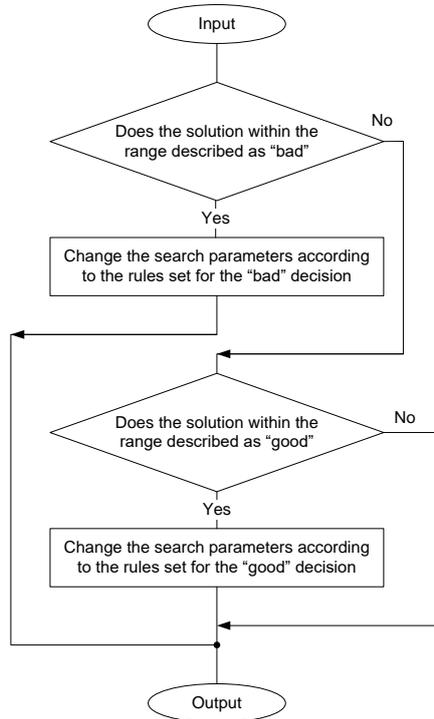


Рис. 9. Обобщенная схема алгоритма работы нечеткого логического контроллера

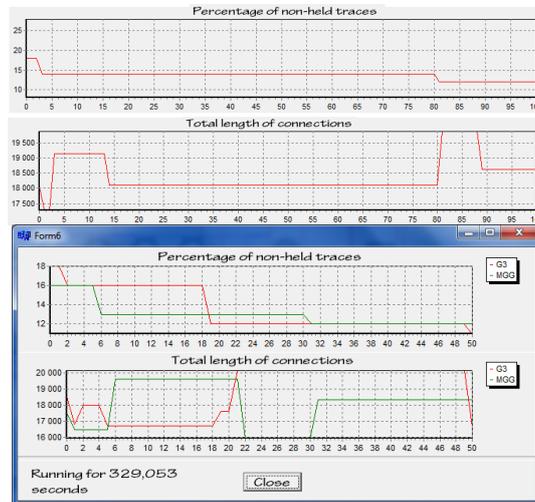


Рис. 10. Результаты экспериментальных исследований

При сравнении результатов программы с использованием контроллера нечеткой логики и без него очевидно, что в первом случае целевая функция сходится быстрее (рис. 11, 12).

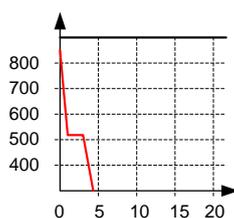


Рис. 11. Экспериментальные результаты с использованием НЛК

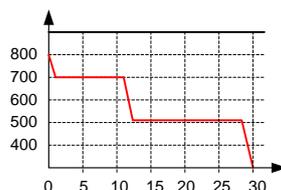


Рис. 12. Экспериментальные результаты без использования НЛК

Заключение. Разработанный оператор кроссингвера «hill- climbing» показал результаты в среднем на 2,5 % быстрее, чем классические операторы, такие как арифметические и линейные. Если сравнить результаты разных моделей формирования популяции, то можно сделать вывод, что модель, основанная на обобщении поколений с использованием оператора «hill- climbing» позволяет получить средний результат на 1,5 % быстрее. На основе анализа результатов работы моделей обобщений поколений и минимального разрыва между поколениями по числу не проведенных связей можно сделать вывод, что для схем с большим количеством элементов более эффективно использовать модель минимального разрыва между поколениями.

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что разработанный оператор кроссингвера «hill- climbing» позволяет сократить число не проведенных соединений в среднем на 1,5–2 %, при этом не уступая классическим операторам кроссингвера в плане производительности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Charles J. Alpert, Dinesh P. Mehta, Sachin S. Sapatnekar. Handbook of algorithms for physical design automation. – CRC Press, New York, USA, 2009.
2. Shervani N. Algorithms for VLSI physical design automation. – USA, Kluwer Academy Publisher, 1995. – 538 p.
3. Cohoon J.P., Karro J., Lienig J. Evolutionary Algorithms for the Physical Design of VLSI Circuits. Advances in Evolutionary Computing: Theory and Applications, Ghosh, A., Tsutsui, S. (eds.). – Springer Verlag, London, 2003. – P. 683-712.
4. Гладков Л.А., Курейчик В.М., Курейчик В.В., Сороколетов П.В. Биоинспирированные методы в оптимизации. – М.: Физматлит, 2009.
5. Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Генетические алгоритмы. – М.: Физматлит, 2010.
6. Ярушкина Н.Г. Основы теории нечетких и гибридных систем. – М.: Финансы и статистика, 2004.
7. Батыршин И.З., Недосекин А.О. и др. Нечеткие гибридные системы. Теория и практика / под ред. Н.Г. Ярушкиной. – М.: Физматлит, 2007.
8. Luger G.F. Artificial Intelligence. Structures and Strategies for Complex Problem Solving. – 6th ed. Addison Wesley, Boston MA, 2009.

9. *Russel S.J., Norvig P.* Artificial Intelligence. A modern Approach. – Prentice Hall, 2003.
10. *Michael A., Takagi H.* Dynamic control of genetic algorithms using fuzzy logic techniques // Proc. of the 5th International Conference on Genetic Algorithms. – Morgan Kaufmann, 1993. – P. 76-83.
11. *Lee M.A., Takagi H.* Integrating design stages of fuzzy systems using genetic algorithms // Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Fuzzy System. – 1993. – P. 612-617.
12. *Herrera F., Lozano M.* Fuzzy Adaptive Genetic Algorithms: design, taxonomy, and future directions // Soft Computing. – Springer-Verlag, 2003. – No. 7. – P. 545-562.
13. *King R.T.F.A., Radha B., Rughooputh H.C.S.* A fuzzy logic controlled genetic algorithm for optimal electrical distribution network reconfiguration // Proceedings of 2004 IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control, Taipei, Taiwan. – 2004. – P. 577-582
14. *Praveen T., Arun Raj Kumar P.* Multi-Objective Memetic Algorithm for FPGA Placement Using Parallel Genetic Annealing // International Journal of Intelligent Systems and Applications (IJISA). – 2016. – Vol. 8, No. 4. – P. 60-66,
15. *Gladkov L.A., Gladkova N.V., Gromov S.A.* Hybrid Fuzzy Algorithm for Solving Operational Production Planning Problems // Advances in Intelligent Systems and Computing. – Springer International Publishing, Switzerland, 2017. – Vol. 573. – P. 444-456.
16. *Gladkov L.A., Gladkova N.V., Leiba S.N., Strakhov N.E.* Development and research of the hybrid approach to the solution of optimization design problems // Advances in Intelligent Systems and Computing. – Springer, Cham, 2019. – Vol. 875. – P. 246-257.
17. *Deb K., Joshi D., Anand A.* Real-coded evolutionary algorithms with parent-centric recombination // Proc. Evol. Comput. – 2002. – Vol. 1. – P. 61-66.
18. *Herrera F., Lozano M., Sánchez A.M.* A taxonomy for the crossover operator for real-coded genetic algorithms: an experimental study // Int. J. Intell. Syst. – 2003. – Vol. 18 (3). – P. 309-338.
19. *Lozano M., Herrera F., Krasnogor N., Molina D.* Real-coded memetic algorithms with crossover hill-climbing // Evol. Comput. – 2004. – No. 12 (3). – P. 273-302.
20. *Gladkov L.A., Gladkova N.V., Gusev N.Y., Semushina N.S.* Integrated approach to the solution of computer-aided design problems // Proceedings of the 4th International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry” (IITI'19). Advances in Intelligent Systems and Computing. – Vol. 875. – Springer, Cham, 2020. – P. 246-257.
21. *Gladkov L.A., Gladkova N.V., Leiba S.N.* Manufacturing Scheduling Problem Based on Fuzzy Genetic Algorithm // Proc. of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2014). Kiev, Ukraine, September 26–29, 2014. –P. 209-213.
22. *Gladkov L.A., Gladkova N.V., Legebokov A.A.* Organization of Knowledge Management Based on Hybrid Intelligent Methods // Software Engineering in Intelligent Systems. Proceedings of the 4th Computer Science On-line Conference 2015 (CSOC 2015). – Vol 3: Software Engineering in Intelligent Systems. – Springer International Publishing, Switzerland 2015. – P. 107-113.
23. *Gladkov L.A., Gladkova N.V., Leiba S.N., Strakhov N.E.* Development and research of the hybrid approach to the solution of optimization design problems // Proceedings of the Third International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry” (IITI'18). IITI'18 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing. – Vol. 875. – Springer, Cham. – P. 246-257.

REFERENCES

1. *Charles J. Alpert, Dinesh P. Mehta, Sachin S. Sapatnekar.* Handbook of algorithms for physical design automation. CRC Press, New York, USA, 2009.
2. *Shervani N.* Algorithms for VLSI physical design automation. USA, Kluwer Academy Publisher, 1995, 538 p.
3. *Cohon J.P., Karro J., Lienig J.* Evolutionary Algorithms for the Physical Design of VLSI Circuits. Advances in Evolutionary Computing: Theory and Applications, Ghosh, A., Tsutsui, S. (eds.). Springer Verlag, London, 2003, pp. 683-712.
4. *Gladkov L.A., Kureychik V.M., Kureychik V.V., Sorokoletov P.V.* Bioinspirirovannyye metody v optimizatsii [Bioinspired methods in optimization]. Moscow: Fizmatlit, 2009.
5. *Gladkov L.A., Kureychik V.V., Kureychik V.M.* Geneticheskie algoritmy [Genetic algorithms]. Moscow: Fizmatlit, 2010.

6. Yarushkina N.G. Osnovy teorii nechetkikh i gibridnykh system [Fundamentals of the theory of fuzzy and hybrid systems]. Moscow: Finansy i statistika, 2004.
7. Batyrshin I.Z., Nedosekin A.O. i dr. Nchetkie gibridnye sistemy. Teoriya i praktika [Fuzzy hybrid systems. Theory and practice], ed. by N.G. YArushkinoy. Moscow: Fizmatlit, 2007.
8. Luger G.F. Artificial Intelligence. Structures and Strategies for Complex Problem Solving. 6th ed. Addison Wesley, Boston MA, 2009.
9. Russel S.J., Norvig P. Artificial Intelligence. A modern Approach. Prentice Hall, 2003.
10. Michael A., Takagi H. Dynamic control of genetic algorithms using fuzzy logic techniques, *Proc. of the 5th International Conference on Genetic Algorithms. Morgan Kaufmann*, 1993, pp. 76-83.
11. Lee M.A., Takagi H. Integrating design stages of fuzzy systems using genetic algorithms, *Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Fuzzy System*, 1993, pp. 612-617
12. Herrera F., Lozano M. Fuzzy Adaptive Genetic Algorithms: design, taxonomy, and future directions, *Soft Computing*. Springer-Verlag, 2003, No. 7, pp. 545-562.
13. King R.T.F.A., Radha B., Rughooputh H.C.S. A fuzzy logic controlled genetic algorithm for optimal electrical distribution network reconfiguration, *Proceedings of 2004 IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control, Taipei, Taiwan*, 2004, pp. 577-582
14. Praveen T., Arun Raj Kumar P. Multi-Objective Memetic Algorithm for FPGA Placement Using Parallel Genetic Annealing, *International Journal of Intelligent Systems and Applications (IJISA)*, 2016, Vol. 8, No. 4, pp. 60-66,
15. Gladkov L.A., Gladkova N.V., Gromov S.A. Hybrid Fuzzy Algorithm for Solving Operational Production Planning Problems, *Advances in Intelligent Systems and Computing*. Springer International Publishing, Switzerland, 2017, Vol. 573, pp. 444-456.
16. Gladkov L.A., Gladkova N.V., Leiba S.N., Strakhov N.E. Development and research of the hybrid approach to the solution of optimization design problems, *Advances in Intelligent Systems and Computing*. Springer, Cham, 2019, Vol. 875, pp. 246-257.
17. Deb K., Joshi D., Anand A. Real-coded evolutionary algorithms with parent-centric recombination, *Proc. Evol. Comput.*, 2002, Vol. 1, pp. 61-66.
18. Herrera F., Lozano M., Sánchez A.M.: A taxonomy for the crossover operator for real-coded genetic algorithms: an experimental study, *Int. J. Intell. Syst.*, 2003, Vol. 18 (3), pp. 309-338.
19. Lozano M., Herrera F., Krasnogor N., Molina D.: Real-coded memetic algorithms with crossover hill-climbing, *Evol. Comput.*, 2004, No. 12 (3), pp. 273-302.
20. Gladkov L.A., Gladkova N.V., Gusev N.Y., Semushina N.S. Integrated approach to the solution of computer-aided design problems, *Proceedings of the 4th International Scientific Conference "Intelligent Information Technologies for Industry" (IITI'19). Advances in Intelligent Systems and Computing*, Vol. 875. Springer, Cham, 2020, pp. 246-257.
21. Gladkov L.A., Gladkova N.V., Leiba S.N. Manufacturing Scheduling Problem Based on Fuzzy Genetic Algorithm, *Proc. of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2014). Kiev, Ukraine, September 26–29, 2014*, pp. 209-213.
22. Gladkov L.A., Gladkova N.V., Legebokov A.A. Organization of Knowledge Management Based on Hybrid Intelligent Methods, *Software Engineering in Intelligent Systems. Proceedings of the 4th Computer Science On-line Conference 2015 (CSOC 2015)*, Vol 3: Software Engineering in Intelligent Systems. Springer International Publishing, Switzerland 2015, pp. 107-113.
23. Gladkov L.A., Gladkova N.V., Leiba S.N., Strakhov N.E. Development and research of the hybrid approach to the solution of optimization design problems, *Proceedings of the Third International Scientific Conference "Intelligent Information Technologies for Industry" (IITI'18). IITI'18 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing*, Vol. 875. Springer, Cham, pp. 246-257.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор С.М. Ковалев.

Гладков Леонид Анатольевич – Южный федеральный университет; e-mail: leo_gladkov@mail.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371625; кафедра САПР; доцент.

Гладкова Надежда Викторовна – e-mail: nadyusha.gladkova77@mail.ru; кафедра САПР; старший преподаватель.

Ясир Муханад Джаббар Ясир – e-mail: yasir_82@mail.ru; кафедра САПР; аспирант.

Gladkov Leonid Anatol'evich – Southern Federal University; e-mail: leo_gladkov@mail.ru; 44, Nekrasovskiy lane, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371625; CAD department; associate professor.

Gladkova Nadezhda Viktorovna – e-mail: nadyusha.gladkova77@mail.ru; CAD department; senior teacher.

Yasir Mukhanad Dzhabbar Yasir – e-mail: yasir_82@mail.ru; CAD department; postgraduate student.

УДК 658.512

DOI 10.18522/2311-3103-2020-4-157-164

В.И. Данильченко, Е.В. Данильченко, В.М. Курейчик

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ
СИНТЕЗ СТУПЕНЧАТОГО НАПРАВЛЕННОГО ОТВЕТВИТЕЛЯ
НА СВЯЗАННЫХ ЛИНИЯХ НА ОСНОВЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО
АЛГОРИТМА**

Описывается автоматизированный подход к структурно-параметрическому синтезу ступенчатого направленного ответвителя на связанных линиях на основе генетического алгоритма (ГА), позволяющий создать алгоритмическую среду в области генетического поиска для решения NP полных задач, в частности структурно-параметрический синтез ступенчатого направленного ответвителя на связанных линиях. Цель данной работы заключается в нахождении путей структурно-параметрического синтеза ступенчатого направленного ответвителя на связанных линиях на основе бионспирированной теории. Научная новизна заключается в разработке модифицированного генетического алгоритма для автоматизированного структурно-параметрического синтеза ступенчатого направленного ответвителя на связанных линиях. Постановка задачи в данной работе заключается в следующем: оптимизировать синтез схем пассивных и активных СВЧ цепей путем применения, модифицированного ГА. Принципиальное отличие от известных подходов в применении новых модифицированных генетических структур в автоматизированном структурно-параметрическом синтезе, кроме того в работе проведен новый метод расчёта ступенчатого направленного ответвителя на связанных линиях на основе модифицированного ГА. Таким образом, проблема создания методов, алгоритмов и программного обеспечения для автоматизированного структурного синтеза СВЧ модулей в настоящее время имеет особую актуальность. Ее решение позволит улучшить качественные характеристики проектируемых устройств, сократит сроки и затраты на проектирование, снизит требования к квалификации разработчика.

Генетические алгоритмы; графы и гиперграфы; эволюционные вычисления; автоматизация синтеза СВЧ модулей; САПР; принципиальная схема; топология.

V.I. Danilchenko, Y.V. Danilchenko, V.M. Kureichik

**AUTOMATED STRUCTURAL-PARAMETRIC SYNTHESIS OF A STEPPED
DIRECTIONAL RESPONDER ON CONNECTED LINES BASED
ON A GENETIC ALGORITHM**

An automated approach to the structural-parametric synthesis of a stepped directional coupler on connected lines based on a genetic algorithm (GA) is described, which makes it possible to create an algorithmic environment in the field of genetic search for solving NP complete problems, in particular, the structural-parametric synthesis of a stepped directional coupler on connected lines. The purpose of this work is to find ways of structural-parametric synthesis of a stepped directional coupler on coupled lines based on the bionspiration theory. The scientific novelty lies in the development of a modified genetic algorithm for automated structural-parametric synthesis of