

УДК 004.896

В.В. Курейчик, Вл.Вл. Курейчик**АРХИТЕКТУРА ГИБРИДНОГО ПОИСКА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ***

Рассмотрена одна из важных задач конструкторского проектирования СБИС – параметрическая оптимизация, которая относится к классу NP-сложных и трудных задач. В работе предложена архитектура гибридного поиска, основанная на многопопуляционном генетическом алгоритме. Для частичного решения предварительной сходимости введен блок миграции, а для увеличения скорости получения квазиоптимальных решений введен блок эволюционной адаптации. Разработана программная среда и проведен вычислительный эксперимент, позволивший уточнить теоретические оценки временной сложности алгоритмов проектирования.

Гибридный поиск; схемотехническое проектирование; параметрическая оптимизация; биоинспирированный алгоритм; генетический алгоритм.

V.V. Kureichik, Vl.Vl. Kureichik**THE ARCHITECTURE OF HYBRID SEARCH FOR DESIGN**

The article describes one of the important tasks of VLSI design - parametric optimization. It belongs to the class of NP-hard and NP-difficult tasks. The paper presents the architecture of the hybrid search based on many-population genetic algorithm. To solve the problem of pre-convergence was introduced migration block and to increase the speed of obtaining quasi-optimal solutions was introduced the block of evolutionary adaptation. It was created a software. A computational experiment was performed and theoretical estimates of the time complexity of algorithm design was clarify.

Hybrid search; schematic design; parameter optimization; algorithm inspired by natural systems; genetic algorithm.

Введение. Развитие современной науки и техники тесно связано с развитием информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), чья роль во всех областях проектирования и производства неуклонно возрастает. Проектирование все более сложных, требующих больших временных и трудовых ресурсов, новых объектов ЭВА и РЭА, невозможно без интегрированного компьютерного сопровождения. В современных ЭВА и РЭА, элементной базой являются системы на кристалле, сверхбольшие и сверхскоростные интегральные схемы (СБИС и ССБИС). Быстрый прогресс в технологии сверхбольших интегральных схем обуславливает потребность в новых средствах автоматизированного схемотехнического проектирования. В работе описана новая архитектура гибридного поиска, ориентированная на схемотехническое проектирование СБИС. Алгоритмы, построенные на основе этой архитектуры, позволяют распараллеливать процесс решения и повысить качество проектирования.

Описание задачи. Задача структурного синтеза заключается в нахождении такой конфигурации схемы, которая бы удовлетворяла всем техническим условиям (критериям оптимальности), накладываемым на схемотехническое решение, и максимизировала или минимизировала целевую функцию. Под критерием оптимальности в этом случае понимается либо некоторый внешний параметр схемы, позволяющий адекватно различать лучшие и худшие решения, либо некоторая функция или система функций, учитывающая роль каждого из критериев оптимальности и сводящая многокритериальную постановку задачи к однокритериальной [1, 2].

* Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект № 10-01-00115).

Оценка схмотехнического решения при проведении структурного синтеза проблематична. Это связано с тем, что получаемые решения при структурном синтезе могут иметь неоптимальные значения внутренних параметров, что приводит к неадекватной их оценке. Поэтому после нахождения альтернативного варианта схмотехнического решения необходимо проводить процедуру параметрической оптимизации.

Процедура параметрической оптимизации выполняется в четыре этапа: создание или поиск новых значений внутренних параметров схмотехнического решения; оценка полученного варианта схемы; принятие решения о пригодности или непригодности полученного варианта схемы; принятие решения о продолжении или прекращении дальнейшего поиска вариантов.

Различают параметрический синтез и параметрическую оптимизацию в зависимости от того, по отношению к чему (к параметрам схмотехнического решения или к определяемым характеристикам этого решения) производится оптимизация. Класс задач, связанный с определением значений параметров компонентов, при которых проектируемая схема удовлетворяет совокупности условий технического задания на разработку, принято называть параметрическим синтезом (по отношению к определяемым параметрам) или параметрической оптимизацией (по отношению к реализуемым характеристикам) [2, 3].

Описание архитектуры поиска и основных блоков алгоритма. Для эффективного решения задач параметрической оптимизации предлагаются биоинспирированные алгоритмы, в которых процесс поиска заключается в последовательном преобразовании одного конечного множества альтернативных решений в другое, используя для этого механизмы и принципы генетики и эволюции живой природы [4–6]. В таких алгоритмах альтернативные решения h_j представляются в виде некоторого набора варьируемых параметров x_i , а сами альтернативные решения объединяются в некоторое множество H . Алгоритм поиска производит преобразование множества H в множество H' таким образом, чтобы обеспечить приближение к оптимальному решению. В предложенной гибридной архитектуре поиска, основанной на многопопуляционном генетическом алгоритме, сначала формируется множество альтернативных решений – H . Каждому элементу $h_j \in H$ соответствует кодовая запись, называемая *хромосомой*, или альтернативным решением. Все хромосомы состоят из элементов, которые соответствуют варьируемым параметрам x_i . Положение элементов в хромосоме четко фиксировано. Каждой хромосоме соответствует одна и только одна точка пространства решений, позволяющая установить операции отношения между двумя альтернативными решениями [5]. Авторы предлагают модифицированную архитектуру гибридного поиска, основанную на многопопуляционном генетическом алгоритме, в котором на каждой итерации динамически изменяются параметры альтернативных решений.

В многопопуляционном генетическом алгоритме используют несколько популяций, развивающихся отдельно друг от друга. Это позволяет частично решать проблему предварительной сходимости, и анализировать практически всю область допустимых решений. Взаимодействие между популяциями происходит при помощи механизма миграции [4, 5]. Различают два вида миграции: эмиграция и иммиграция. Эмиграция – это механизм передачи одного или нескольких особей из одной популяции в другой. Иммиграция – это механизм приема одной или нескольких особей из другой популяции.

Применение механизма миграции на ранних стадиях развития популяций может быть неэффективным. Так как слишком ранняя иммиграция лучших решений из других популяций смещает область поиска ближе к принимаемому решению. Уменьшая при этом степень анализа текущей области поиска. Поэтому необходимо заранее задать определенные условия, после которого начинает работать механизм миграции.

Выявление неперспективных популяций является довольно трудной задачей потому, что нельзя заранее предсказать, какие из популяций будут являться перспективными, а какие – нет. Также следует учитывать тот факт, что за время проведения поиска популяция может переходить из разряда неперспективных популяций в перспективные и обратно. Вследствие этого в работе предложен механизм динамического (в процессе работы алгоритма) распознавания развития популяций. В качестве такого механизма предлагается использовать модифицированный муравьиный алгоритм (Ant Colony) [7–10].

Упрощенная архитектура гибридного поиска на основе многопопуляционного генетического и модифицированного алгоритма Ant Colony приведена на рис. 1.

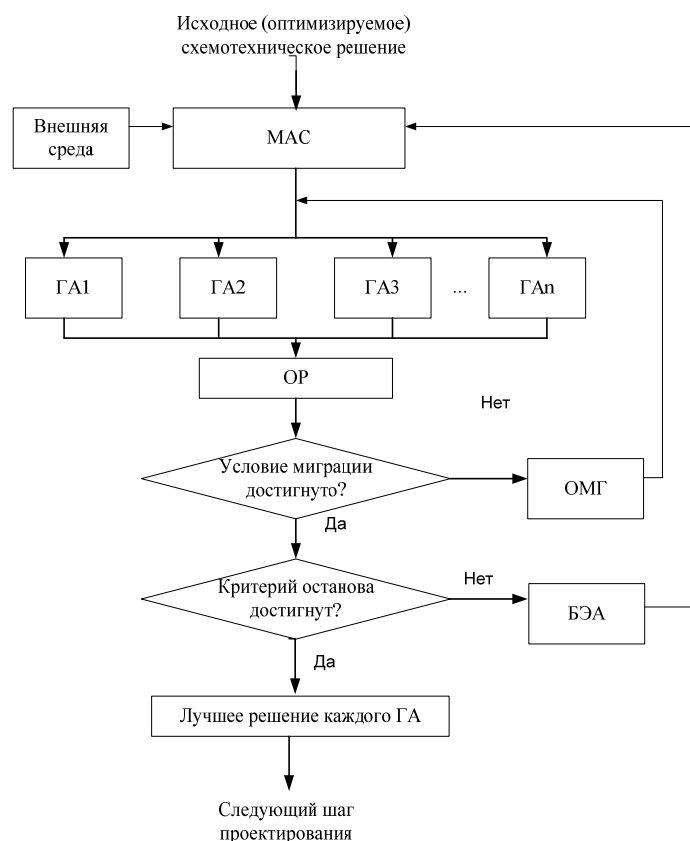


Рис. 1. Архитектура гибридного поиска

Здесь *МАС* – модифицированный алгоритм Ant Colony; *ГА₁*, *ГА₂*, *ГА₃* и *ГА_n* – генетические алгоритмы популяций; *n* – количество популяций в многопопуляционном генетическом алгоритме; *ОМГ* – оператор миграции обеспечивающий обмен лучшими решениями между популяциями; *БЭА* – блок эволюционной адаптации. Гибридный поиск представляет собой кортеж:

ГБА=<МАС, ГА, ОМГ, критерий миграции, критерий останова>.

Рассмотрим работу гибридного поиска подробнее:

Блок *МАС* основывается на моделировании модифицированного вероятностного бионического алгоритма Ant Colony.

Было обнаружено, что по мере продвижения муравей откладывает на почве метки – следы феромона, способные распознаваться другими муравьями. Муравей, не сталкивающийся с прежде проложенным следом, движется произвольно, но, если он наталкивается на след, то с высокой вероятностью будет перемещаться по этому следу, усиливая след своими собственными метками. Вероятность выбора направления движения (идти по найденному следу или нет) пропорционально величине феромона в найденном следе, в соответствии с этим, чем больше муравьев пройдет по одному и тому же пути, тем более привлекательным становится этот путь. Таким образом, следы феромона, оставленные муравьями передают информацию индивидуумам и используются как некоторый способ накопления знаний при решении задачи выбора пути. А коллективное поведение, которое возникает при этом – формой автокаталитического поведения [7].

Процесс нахождения кратчайшего пути к источникам корма, таким образом, охарактеризован положительным циклом обратной связи, где вероятность, с которой муравей выберет путь, увеличивается с ростом количества феромона, отложенного другими муравьями на этом пути. Отметим следующие особенности: искусственные муравьи (агенты) имеют некоторую память; они не полностью слепы; они находятся в пространстве, где время дискретно; из каждой точки пространства, в которой находится муравей, можно попасть в любую другую точку пространства (кроме той в которой он находится) за один переход.

Важной особенностью этого алгоритма является то, что неперспективные направления сразу не отбрасываются. Этот факт дает возможность алгоритму приспособиться к возможным изменениям внешней среды, улучшению или ухудшению показателей направления. Другими словами, дает возможность эффективно находить лучший путь при возможном переводе неперспективного направления в разряд перспективных или наоборот.

Приведенный в работе МАС используется для анализа развития популяций в многопопуляционном генетическом алгоритме, позволяя сократить время работы этого алгоритма за счет передачи времени поиска неперспективных популяций более перспективным. В основе МАС лежат следующие допущения: каждой вершине графовой модели поставлена в соответствие одна из популяций многопопуляционного алгоритма; количество агентов равно количеству популяций; агенты расставляются последовательно в каждую вершину; переход между вершинами графовой модели осуществляется на основании варьируемых вероятностных коэффициентов.

Блок ОМГ осуществляет взаимодействие между популяциями за счет иммиграции лучших решений из лучшей популяции и эмиграции этих решений в худшие популяции. Существует несколько механизмов миграции [4, 5]. В предложенном в работе гибридном алгоритме механизм миграции функционирует следующим образом:

В начале все популяции ранжируются в порядке возрастания лучшего значения ЦФ в популяции. После этого в каждой популяции, кроме лучшей, заменяется $q \times r$ худших особей лучшими особями. Где q – процент исключения хромосом, r – количество хромосом в популяции. Лучшие особи иммигрируют из лучшей популяции. Вероятность выбора особи для эмиграции рассчитывается по формуле:

$$P_i = \frac{ЦФ(h_i)}{\sum_{j=1}^{r-q \cdot r} ЦФ(h_j)},$$

где $ЦФ(h_i)$ и $ЦФ(h_j)$ – значение ЦФ для i и j соответственно особи. Механизм миграции выполняется при наступлении критерия миграции.

В качестве критерия миграции было принято достижение заданного числа итераций алгоритма, т.е. после каждой итерации инкрементировался счетчик вре-

мени миграции t_m и при достижении заданного количества итераций $t_m = \max t_m$ выполнялся механизм миграции. После чего t_m приравнялся к нулю и выполнение алгоритма продолжалось, пока не наступал критерий останова.

В качестве критерия останова в предложенном в работе гибридном многопопуляционном алгоритме применялись: достигнуто заданное число генераций алгоритма; сумма меток следа всех популяций за некоторое количество итераций.

Блок ГА основывается на модифицированном генетическом алгоритме, ориентированном на решение задач параметрической оптимизации и представляется в виде кортежа:

$$ГА = \langle H, МК, С, ЦФ, ОР, ГО, h_i, N_gen \rangle,$$

где МК – метод кодирования хромосом (альтернативных решений), С – селекция, ОР – оператор редукции, ГО – генетические операторы, N_gen – число поколений или генераций алгоритма, $h_i \in H$ – хромосома, H – популяция.

Принципиальным отличием предложенного в работе гибридного алгоритма от существующих методов решения задач параметрической оптимизации схмотехнических решений является введение блока динамического адаптивного распределения времени развития популяций. Этот блок позволяет анализировать развитие отдельных популяций и при нахождении неперспективных – перераспределить время поиска этих популяций. Такой подход позволяет сократить время поиска квазиоптимальных решений.

Заключение. Проведен вычислительный эксперимент, который показал, что при решении задач параметрической оптимизации гибридный алгоритм на основе бионических методов, дает преимущества в скорости поиска решений в среднем на 10–15 %. Также преимущество гибридного алгоритма состоит в параллельной генерации наборов квазиоптимальных альтернативных решений с возможной миграцией решений между этими наборами. Проведенные серии тестов и экспериментов позволили уточнить теоретические оценки временной сложности алгоритмов проектирования и их поведение для схем различной структуры. В лучшем случае временная сложность алгоритма $\approx O(n \log n)$, а в худшем случае – $O(n^3)$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ильин В.Н. Основы автоматизации схмотехнического проектирования. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергия, 1979. – 392 с.
2. Павлов В.Н., Ногин В.Н. Схмотехника аналоговых электронных устройств: Учебник для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 320 с.
3. Курейчик В.В., Запорожец Д.Ю. Современные проблемы при размещении элементов СБИС // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 7 (120). – С. 68-73.
4. Курейчик В.В., Курейчик В.М., Гладков Л.А., Сороколетов П.В. Бионспирированные методы в оптимизации. – М.: Физмалит, 2009.
5. Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Генетические алгоритмы. – М.: Физматлит, 2010.
6. Курейчик В.В., Курейчик В.М., Родзин С.И. Концепция эволюционных вычислений, инспирированных природными системами // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 4 (93). – С. 16-27.
7. Dorigo M., Maniezzo V., Colomi A. The Ant System: Optimization by a colony of cooperating objects // IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics. – 1996. – P. В. – № 26 (1). – P. 29-41.
8. Запорожец Д.Ю., Курейчик В.В. Роевой алгоритм в задачах оптимизации // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 7 (108). – С. 28-32.
9. Курейчик В.М., Лебедев Б.К., Лебедев О.Б. Разбиение на основе моделирования адаптивного поведения биологических систем // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2010. – № 2. – С. 28-34.
10. Лебедев Б.К., Лебедев В.Б. Глобальная трассировка на основе роевого интеллекта // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 7 (108). – С. 32-39.

Статью рекомендовала к опубликованию д.т.н., профессор Л.С. Лисицына.

Курейчик Владимир Викторович – Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге; e-mail: vkur@tsure.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44, ГСП 17А; тел.: 88634371651; кафедра систем автоматизированного проектирования; зав. кафедрой; д.т.н.; профессор.

Курейчик Владимир Владимирович – e-mail: kureichik@yandex.ru; кафедра систем автоматизированного проектирования; студент.

Kureichik Vladimir Victorovich – Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: vkur@tsure.ru; GSP 17A, 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371651; the department of computer aided design; head of department; dr. eng. sc.; professor.

Kureichik Vladimir Vladimirovich – e-mail: kureichik@yandex.ru; the department of computer aided design; student.

УДК 681.325

Б.К. Лебедев, О.Б. Лебедев

МОДЕЛИРОВАНИЕ АДАПТИВНОГО ПОВЕДЕНИЯ МУРАВЬИНОЙ КОЛОНИИ ПРИ ПОИСКЕ РЕШЕНИЙ, ИНТЕРПРЕТИРУЕМЫХ ДЕРЕВЬЯМИ*

Предлагается новая парадигма комбинаторной оптимизации trees ant colony optimization (T-ACO), основанная на идеях муравьиной колонии и, в первую очередь, на идее непрямого обмена – стигмерджи (stigmergy), позволяющая осуществлять синтез дерева. Такой подход является эффективным способом поиска рациональных решений для задач оптимизации, допускающих графовую интерпретацию в виде деревьев. Представление оптимизационной задачи в виде парадигмы T-ACO опирается на два ключевых момента: формирование графа поиска решений (ГПР) и построения допустимых альтернативных решений (деревьев) на графе поиска решений. ГПР формируется из двух типов вершин: множество вершин первого типа M , являющихся листьями дерева; множество вершин второго типа S соответствуют внутренним вершинам дерева. На вершинах множества S формируется полный граф, а каждая внутренняя вершина связывается дугами со всеми вершинами множества M . Пошаговый процесс построения муравьем дерева на базе ГПР начинается со стартовой вершины S . На каждом шаге выбирается одна из еще не связанных вершин, которая связывается ребром с одной из уже ранее выбранных и связанных вершин. Описывается процедура поиска решений, способы отложения и испарения феромона.

Роевой интеллект; муравьиная колония; адаптивное поведение; самоорганизация; дерево; оптимизация.

B.K. Lebedev, O.B. Lebedev

MODELLING OF AN ANT COLONY ADAPTIVE BEHAVIOUR BY SEARCH OF THE DECISIONS INTERPRETED BY TREES

The new paradigm of combinatorial optimization trees ant colony optimization (T-ACO), based on ideas of an ant colony and first of all on idea of an indirect exchange – stigmergy is offered, allowing to carry out tree synthesis. Such approach is effective way of search of rational decisions for the problems of optimization supposing graph interpretation in the form of trees.

* Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проекты: № 12-01-00100, № 10-07-00055).