

Курейчик Владимир Викторович – Южный федеральный университет; e-mail: vkur@tsure.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371651; кафедра систем автоматизированного проектирования; зав. кафедрой; д.т.н.; профессор.

Запорожец Дмитрий Юрьевич – e-mail: elpilasgsm@gmail.com; кафедра систем автоматизированного проектирования; аспирант.

Заруба Дарья Викторовна – e-mail: daria_zaruba@gmail.com; кафедра систем автоматизированного проектирования; аспирантка.

Kureichik Vladimir Victorovich – Southern Federal University; e-mail: vkur@tsure.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371651; the department of computer aided design; head of department; dr. of eng. sc.; professor.

Zaporoghetz Dmitri Urievich – e-mail: elpilasgsm@gmail.com; the department of computer aided design; postgraduate student.

Zaruba Daria Victorovna – e-mail: daria_zaruba@gmail.com; the department of computer aided design; postgraduate student.

УДК 321.628

В.В. Курейчик, Вл.Вл. Курейчик

ИНТЕГРИРОВАННЫЙ АЛГОРИТМ РАЗМЕЩЕНИЯ ФРАГМЕНТОВ СБИС*

Рассмотрена одна из важных задач конструкторского проектирования – задача размещения фрагментов СБИС. Она относится к классу NP-сложных и трудных задач. Приведена постановка задачи размещения. Описаны модели представления задачи размещения и обосновано построение на их основе иерархической многоуровневой декомпозиционной структуры. Сформулирована эвристика, позволяющая выделять связанные фрагменты графовой модели коммутационной схемы в виде строительных блоков, образованных короткими цепями. Предложен комбинированный поиск, реализованный по иерархическому принципу на основе генетических, эволюционных и алгоритмов, моделирующих механизмы принятия решений природными системами. Разработан интегрированный алгоритм, позволяющий распараллеливать процесс решения и частично устранять проблему предварительной сходимости. Проведен вычислительный эксперимент. Проведенные серии тестов и экспериментов позволили уточнить теоретические оценки временной сложности алгоритмов размещения и их поведение для схем различной структуры. В лучшем случае временная сложность алгоритмов $\approx O(n \log n)$, в худшем случае – $O(n^3)$.

Комбинированный поиск; конструкторское проектирование; муравьиный алгоритм; размещение; генетический алгоритм.

V.V. Kureichik, Vl.Vl. Kureichik

INTEGRATED VLSI FRAGMENT PLACEMENT ALGORITHM

One of the important tasks of the design engineering such as VLSI placement problem is presented in this article. It belongs to the class of NP-hard problem. The paper contains formulation of the placement problem. The models represent the problem of locating and proved multilevel hierarchical decomposition structure. Formulated heuristics, allowing to allocate associated fragments of a graph model of a circuit diagram in the form of building blocks formed by short chains. It was suggested a combined search, implemented by a hierarchical principle on the basis of genetic, evolutionary and algorithms modeling decision-making mechanisms in natural systems. It was developed an integrated algorithm that allows to parallelize the process of solving the prob-

* Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект № 13-01-00371).

lem and partly to eliminate preliminary convergence. Computational experiment was performed. Carried out a series of tests and experiments allowed to specify the theoretical estimation of the time complexity of algorithms and organize their behavior for circuits with different structures. In the best case time complexity of algorithms is about $O(n \log n)$, in the worst case – $O(n^3)$.

Combined search; design engineering; ant algorithm; placement; genetic algorithm.

В настоящее время важным стало освоение рынка электронных технологий в минимально короткие сроки, а также прогнозирование возможного финансового риска, закладываемого в процесс производства нового изделия. Важнейшим этапом в цикле проектирования, является этап конструкторского проектирования, на котором решаются задачи разбиения (компоновки), планирования, размещения, трассировки (разводки), упаковки, верификации [1].

Среди типовых задач этапа конструкторского проектирования СБИС размещение их элементов и трассировка соединений являются проблемными. В условиях современного развития информационных технологий существующие алгоритмы автоматизированного проектирования не справляются с решением или требуют много процессорного времени для поиска эффективных решений. Поэтому, в связи с большой сложностью и размерностью задач конструкторского проектирования, а также с возникновением новых тенденций в технологии изготовления СБИС, появляется необходимость в разработке новых направлений, методик, алгоритмов для решения данного класса проблем. Одним из подходов является разработка гибридных, интегрированных и комбинированных алгоритмов, инспирированных природными системами [1–6].

Описание задачи размещения. Задача размещения фрагментов БИС относится к классу NP-трудных проблем. Известна гипотеза, что для таких задач невозможно строить алгоритмы получения точного решения, обладающие полиномиальной вычислительной сложностью [7–10]. Одним из основных путей уменьшения сложности задачи размещения – это сокращение их размерности. В основном, уменьшение размерности задачи выполняют путем декомпозиции сложной оптимизационной задачи размещения на ряд подзадач. Также эффективным методом уменьшения размерности задачи размещения является выбор нечетких подсистем топологических параметров. Это целесообразно для получения первоначального решения, которое может стать «прообразом» будущих популяций альтернативных решений.

В рассматриваемых задачах размещения, содержащих тысячи фрагментов БИС (групп транзисторов), эффективным является многоуровневое макро моделирование. При этом исходная задача большой размерности (проблема размещения БИС) разбивается на множество иерархически вложенных друг в друга идентичных задач (размещение фрагментов БИС) значительно меньшей размерности, решаемых одним базовым оптимизационным методом [7–9].

Функциональные характеристики каждого фрагмента БИС можно условно описать кортежем систем коммутационных, электрических, конструктивных и внешних параметров [7].

$$F = \langle A, B, C, D \rangle .$$

Система А коммутационных параметров определяет число элементов и соединений фрагментов БИС. Система В электрических параметров в основном не зависит от коммутационных параметров. Здесь необходимо решать проблемы задержки, электрической совместимости, емкостного баланса и т.п. Система С конструктивных параметров определяет размеры фрагментов, внутренних элементов, толщину и длину соединений. Система D определяется ЛПР (лицом, принимающим решение), т.е. конструктором, и представляет собой набор расплывчатых множеств и инструкций.

Итак, проблема размещения фрагментов СБИС формально сводится к определению оптимального пространственного расположения связанных элементов (модулей, фрагментов) с расположенными на них терминалами (выводами) на коммутационном поле (КП) в соответствии с заданными критериями. Также проблема размещения во многом определяется типом проектируемой БИС. Наиболее известными реализациями БИС являются: схемы, состоящие из стандартных элементов; схемы, состоящие из макроблоков нестандартных элементов; схемы, изготавливаемые по технологии «море вентиляей».

Основным комплексным критерием качества размещения является мера оценки электромагнитотепловой совместимости при размещении фрагментов БИС [7, 10]. Данный критерий определяет область допустимых размещений элементов на плоскости, на которой могут быть заданы другие критерии. При заданных размерах кристалла (БИС) важной задачей является размещение на нем всех элементов без наложений. В общем случае для оценки качества размещения вводят функцию качества, описывающую критерии оптимальности размещения. Такими критериями могут быть: длина критических связей; число изгибов и толщина проводящих соединений; число конструктивно законченных блоков; длина задержки сигнала; число соединений между конструктивными блоками; число связей внутри блоков; функциональная полнота блоков и т.д.

«Классическим» (самым распространенным) критерием при размещении является суммарная длина внутренних соединений. Выполнение этого критерия существенно: улучшает электрические характеристики устройства (уменьшает временные задержки, возникающие в длинных цепях), что способствует: минимизации задержек сигнала, взаимных наводок, размеров конструктивных единиц; повышению надежности; увеличению скорости обработки информации в СБИС; упрощает трассировку и снижает трудоемкость изготовления печатных плат.

Построение модели задачи размещения. Для оптимального решения задач размещения требуется разработка таких эвристических методов и алгоритмов, которые бы эффективно реализовывались на ЭВМ. Часто задачи размещения решают путем разбиения исходной коммутационной схемы на уровни (абстрактные математические модели схем соединений монтажно-коммутационного пространства). Для создания формальной модели в этом случае используются методы оптимального свертывания и разворачивания схем.

В проектно-конструкторских задачах размещения применяют двухуровневое, трехуровневое или четырехуровневое представление устройства. При двухуровневом описании элемент $(i+1)$ -го уровня (линейка) рассматривают как некоторое устройство с соответствующим делением на составные элементы (фрагменты) i -го уровня. При трёхуровневом представлении элемент $(i+2)$ -го уровня рассматривают как некоторое устройство (решетка), состоящее из макроэлементов $(i+1)$ -го уровня (например, ТЭЖ, кристалл, линейка), которые, в свою очередь, состоят из базовых элементов i -го уровня (элементы) [8, 9].

Представление устройства в виде совокупности блоков разного уровня определяет формальную структурную модель, в которой каждый блок содержит блоки нижних уровней. Такой иерархический подход позволяет снизить временную сложность задач автоматизированного проектирования, разбивая её на подзадачи меньшей размерности. Таким образом, иерархическое деление позволяет организовать описание и хранение данных, при котором конструкторско-технологические ограничения не нарушаются.

Опишем идею модифицированного метода свертывания коммутационной схемы [10]:

1. Исходные элементы множества конструкций S , которые подлежат размещению, относятся к первому уровню $S1 \subseteq S$ прадерева свертки.

2. Выделим из множества S группы элементов, имеющих одинаковое значение целевой функции. В качестве целевой функции примем отношение локальной степени элемента к числу мультисвязей этого элемента.
3. Объединим два или более элементов. Сформированные группы относятся ко второму уровню S_2 .

Эффективной моделью для размещения являются графы различного вида. Граф должен адекватно отражать конструктивные свойства схемы и нести в себе определенные знания о решаемых задачах. Существует большое число методов построения графовых моделей коммутационных схем, подлежащих размещению. Широко используемый метод [8–10] заключается в том, что элементам схемы соответствуют вершины графа $x_i \in X$, а электрические цепи представляются ребрами $u_j \in U$, где $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, $|X| = n$, $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$, $|U| = m$.

Заметим, что каждый узел в схеме соединений в общем случае должен представляться в графе G полными подграфами. При переходе от схемы соединений к графу за счет развязки узлов (узел соответствует соединению всех элементов между собой), в графе появляются «лишние» ребра, т.е. соединения, фактически не существующие в коммутационной схеме. Это вносит избыточную информацию, а также позволяет перестраивать структуру графа после каждого этапа алгоритма.

Часто используется метод перехода от схемы соединений к графу, когда контактные площадки под элементы представляются вершинами графа $G = (X, U)$, а соединения между ними – ребрами. При этом полученный граф G представляет собой объединение полных подграфов схемы. Если в каждом полном подграфе выделить покрывающее дерево, т.е. выполнить развязку узлов, то граф G представится множеством несвязанных деревьев.

При таком способе возрастает число вершин исследуемого графа, но появляется возможность получения оптимального размещения. Возможно перестраивать деревья и поддеревья после каждого шага алгоритма. С их помощью можно описать любые возможные способы представления фрагментов СБИС при их размещении на кристалле.

Если при переходе от схемы соединений фрагментов СБИС к математической модели несущественна конкретная структура покрывающих деревьев, то удобным представлением такой схемы является гиперграф или его представление.

Использование предложенных графовых моделей позволяет осуществлять свертывание и декомпозицию схем большой размерности. Это дает возможность осуществлять синтез различных вариантов размещения путем построения иерархической многоуровневой декомпозиционной структуры модели. При жестких ограничениях на число связей данные модели позволяют в интерактивном режиме выбирать модели, ориентированные на знания о решаемых задачах.

Разработка и описание интегрированного алгоритма. Существующие алгоритмы размещения дают возможность получать результаты, достаточные для практических целей. Однако в них не решается вопрос моделирования цепей коммутационных схем (КС). Представление цепей КС в виде полных подграфов не позволяет рассматривать все варианты оптимального расположения отдельной цепи. В ряде алгоритмов [8, 9] при оптимизации размещения учитываются не все ребра подграфа, а только та их часть, которая образует дерево. В указанных моделях ребра, вошедшие в дерево, выбираются априорно до начала процесса оптимизации. При этом число возможных вариантов оптимального расположения отдельной цепи КС ограничивается. Указанный недостаток не распространяется на «короткие» цепи, включающие не более трех элементов. Для таких цепей возможно исследование всех вариантов их оптимального размещения.

Схемы СБИС могут быть преобразованы так, что будут содержать в основном последовательность соединенных между собой коротких цепей. В этой связи целесообразно разрабатывать эвристики размещения таких цепей. В процессе оптимизации предлагается минимизировать стоимость связей, образованных короткими цепями. Для этого предлагается эвристика, которая состоит в выделении связанных фрагментов графовой модели КС в виде строительных блоков (СБ), образованных короткими цепями. Далее выполняется размещение этих СБ с учетом «длинных» цепей и «вложенное» размещение элементов внутри СБ с учетом только коротких цепей.

Для эффективного решения задачи размещения предлагается комбинированный поиск, реализованный по иерархическому принципу на основе генетических (ГА), эволюционных (ЭА) и алгоритмов, моделирующих механизмы принятия решений природными системами [1, 3, 5, 11]. Структурная схема интегрированного алгоритма (ИА) размещения фрагментов СБИС приведена на рис. 1. Процесс размещения фрагментов СБИС графовой модели коммутационной схемы осуществляется в 4 этапа.

На первом этапе предлагается использовать блок предварительной обработки (*блок анализа*) на основе модифицированного алгоритма Ant Colony (МААС) [1, 4]. На втором этапе производится разработка методов кодирования и создание начальной популяции альтернативных решений размещения на основе графовой модели исходной коммутационной схемы (блок – препроцессинга). На третьем этапе производится бионическое размещение (*блок вычислений*) по двум направлениям реализация критерия суммарной длины связей с использованием генетического или эволюционного алгоритмов и выполнение критерия длины критических связей исходной схемы. В этом блоке выполняются следующие процедуры: выбор микро-, макроэволюции; кодирование альтернативных решений; определение элементов эволюции; разработка операторов случайных, направленных и интегрированных преобразований входной информации; выбор моделей эволюции и способов «выживания» решений; рекомбинация решений [3, 11, 12].

После выполнения этапа размещения производится процедура раскодирования – постпроцессинг. Здесь реализуются принципы адаптации полученных решений к внешней среде (ЛПР) на основе метаэволюции в соответствии с интегрированным критерием качества размещения.

Приведем требования к алгоритму размещения фрагментов БИС:

1. Построение графовой модели, ориентированной на исходную КС, подлежащую размещению.
2. Анализ модели КС для выявления массивов, на основе которых будут создаваться строительные блоки (группы фрагментов) хромосом (альтернативных решений) – выполнение МААС с учетом выбранного критерия.
3. Формирование начальных популяций для модифицированного бионического алгоритма размещения необходимо осуществлять по комплексному критерию, а не только по связности.
4. Формирование популяции для следующей генерации алгоритма должно производиться на основе варьирования ее численности.
5. Проведение этапа миграции.
6. Процедура селекции будет выполняться на основе экспертной подсистемы (ЛПР).
7. По завершению процедуры размещения строительных блоков (фрагментов СБИС) необходимо выполнить процедуру размещения элементов внутри каждого блока с учётом информации об их взаиморасположении, без наложения друг на друга.

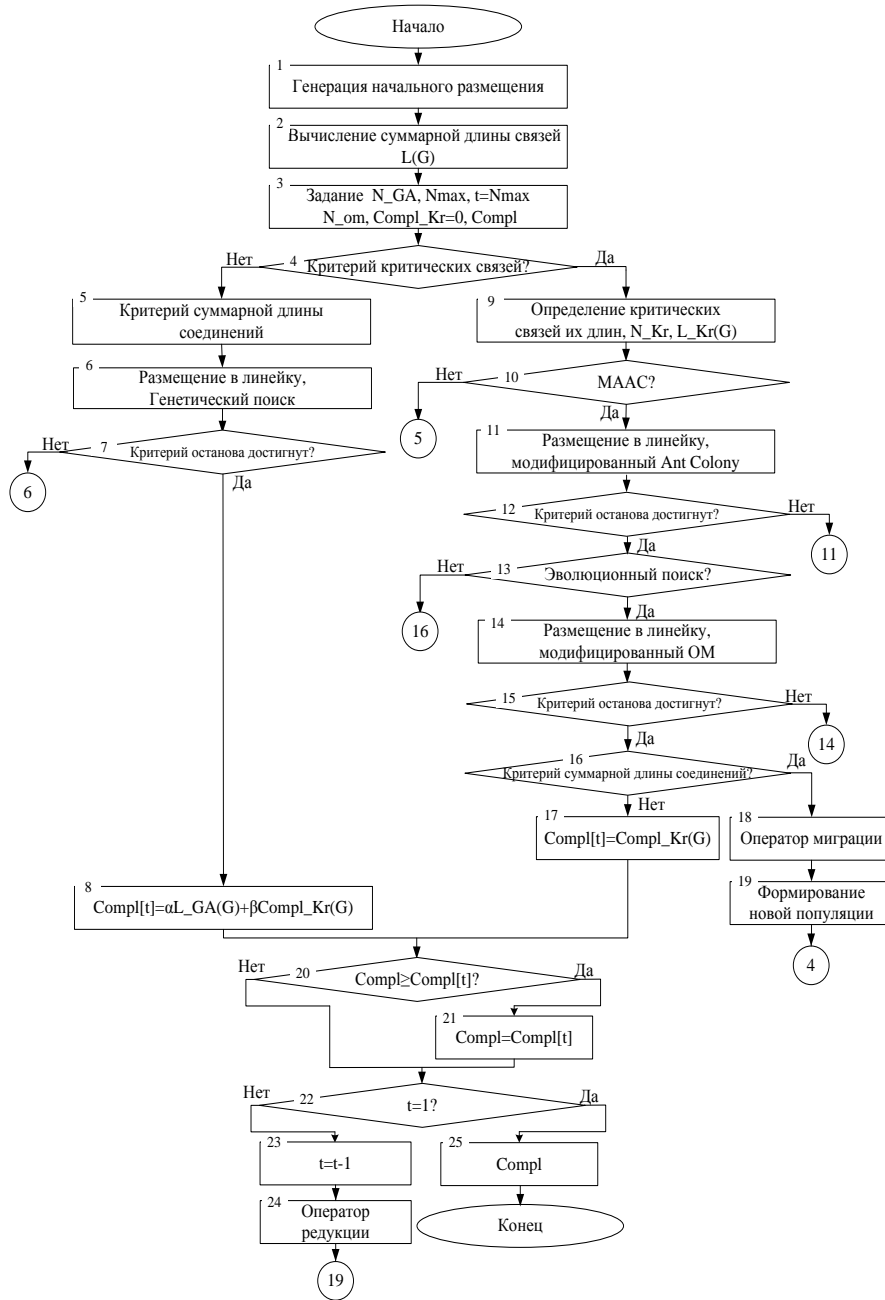


Рис. 1. Структурная схема интегрированного алгоритма размещения

При создании строительных блоков возникает вопрос определения их размеров [12]. Эвристик, определяющих необходимый размер строительного блока, не существует. В этой связи необходимо руководствоваться результатами предыдущего этапа конструкторского проектирования – компоновки, а также актуальной является задача разработки подобных эвристик.

После определения размеров строительных блоков и реализации интегрированного алгоритма производится их заполнение оптимальным образом. Интегрированным критерием квазиоптимального размещения является аддитивный критерий, минимизирующий длину критических связей и суммарную длину соединений в схеме [7].

Рассмотрим структуру интегрированного алгоритма подробнее.

Блоки 1–3: генерация начального размещения, ввод конструкторско-технологических параметров и ограничений. Здесь:

- ◆ N_{GA} – число итераций ГА размещения фрагментов БИС;
- ◆ N_{max} – число итераций ИА;
- ◆ t – текущая итерация ИА;
- ◆ N_{om} – число итераций ЭА размещения;
- ◆ $Compl$ – значение комплексного критерия оценки качества размещения (рекордное значение, достаточно большое).

Блок 4: выбор критерия оценки эффективности результирующего размещения фрагментов БИС. Если выбран критерий длины критических связей, то осуществляется переход на блоки 9–12, в противном случае осуществляется выполнение действий из блоков 5–7.

Блоки 5, 6: реализация критерия суммарной длины соединений на основе моделирования генетического поиска (ГП) [3, 11, 12].

Блок 7: определение критерия останова поиска – число итераций модифицированного ГА. В том случае, если критерий достигнут, осуществляется переход к моделированию МААС и/или эволюционного поиска. Если ЛПР выбрало стратегию оценки эффективности размещения только с использованием критерия суммарной длины соединений, то осуществляется переход к блокам 8, 20, 21 – вывод и оценка полученного квазиоптимального решения.

Блок 9: определение критических связей в графовой модели коммутационной схемы, а также вычисление их на основе моделирования МААС. Здесь N_{Kr} – число, $L_{Kr}(G)$ – длина критических связей в графовой модели схемы.

Блоки 10–11: моделирование модифицированного алгоритма Ant Colony в зависимости от настроек входных параметров.

Блок 12: определение критерия останова МААС – отработаны все критические связи графовой модели коммутационной схемы. В том случае, если критерий достигнут, осуществляется переход к моделированию эволюционного и/или генетического поиска.

Если ЛПР выбрало стратегию оценки эффективности размещения на основе критерия критических связей (моделирование МААС), то осуществляет переход к блокам 17, 20 – вывод и оценка полученного квазиоптимального решения.

Блоки 13–14: моделирование ЭП в зависимости от настроек входных параметров (выбора стратегии выполнения оператора мутации).

Блок 15: определение критерия останова ЭП – отработаны все «достроенные» критические связи графовой модели коммутационной схемы. В том случае, если критерий достигнут, осуществляется переход к моделированию генетического поиска или вывод полученного квазиоптимального решения – реализация блоков 20, 21.

Блок 16: выбор критерия суммарной длины соединений. В том случае, если выбран данный критерий, переходим к блоку 18.

Блоки 18–19: реализация оператора миграции [3], формирование новой популяции с учетом квазиоптимальных решений полученных на этапе моделирования МААС и/или ЭП.

Блок 22: определение критерия останова ИА – число итераций и/или критическое время работы алгоритма, а также получено решение, удовлетворяющее требованиям квазиоптимальности. В том случае, если достигнут критерий остано-

ва, то осуществляет вывод полученного в процессе моделирования лучшего решения – блок 25. Если критерий останова не достигнут, то процесс моделирования комбинированного алгоритма повторяется в соответствии с настройками системы – выполнение блоков 23, 24.

Реализация такого подхода позволяет: обеспечить хорошие начальные решения, сократить область поиска, повысить быстродействие системы в целом.

В предложенном авторами в интегрированном алгоритме размещения фрагментов СБИС появляется возможность анализировать нечеткие модели КС. В вычислительной сети при этом одновременно производится реализация МААС и параллельно модифицированных эволюционных и генетических алгоритмов размещения [13]. Это дает возможность варьировать размеры моделей, для поиска оптимального или квазиоптимального результатов размещения.

Вычислительный эксперимент. Разработан программный продукт в среде объектно-ориентированного проектирования Borland C++ Builder™ 6.0. Тестирование разработанных алгоритмов выполнялось на компьютере AMD FX(tm)-8121 Eight-Core Processor 3.10 GHz, ОЗУ 4,00 Гб.

Была проведена серия экспериментов для разного набора тестовых примеров, различающихся количеством элементов в схеме. На основе анализа проведенных исследований для задач малой размерности (до 1000 элементов) эффективным является эволюционный алгоритм. А при решении задачи размещения в размерности, приближенной к промышленным объемам (более 10000 элементов), эффективным является комбинированный поиск.

Заключение. Отметим, что при размещении строительных блоков в виде групп фрагментов СБИС, в отличие от отдельных вершин в линейке, появляется возможность прогнозировать размещение на шаг вперед, что повышает точность размещения и быстродействие предложенного алгоритма. Результат окончательного размещения зависит от эффективности сжатия графовой схемы, выбора критерия оценки качества размещения, выбора стратегии последовательного или параллельного поиска, а также эволюционных и генетических операторов. Проведен вычислительный эксперимент. Проведенные серии тестов и экспериментов позволили уточнить теоретические оценки временной сложности алгоритмов размещения и их поведение для схем различной структуры. В лучшем случае временная сложность алгоритмов $\approx O(n \log n)$, в худшем случае – $O(n^3)$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Курейчик В.В., Курейчик В.М., Гладков Л.А., Сороколетов П.В. Бионспирированные методы в оптимизации. – М.: Физмалит, 2009. – 384 с.
2. Курейчик В.В., Курейчик Вл.Вл. Архитектура гибридного поиска при проектировании // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 7 (132). – С. 22-27.
3. Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Генетические алгоритмы. – М.: Физматлит, 2010. – 366 с.
4. Dorigo M., Maniezzo V., Colomi A. The Ant System: Optimization by a colony of cooperating objects // IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics. – 1996. – Part B, No 26(1). – P. 29-41.
5. Курейчик В.В., Курейчик В.М., Родзин С.И. Теория эволюционных вычислений. – М.: Физмалит, 2012. – 260 с.
6. Бова В.В., Курейчик В.В. Интегрированная подсистема гибридного и комбинированного поиска в задачах проектирования и управления // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 12 (113). – С. 37-42.
7. Курейчик В.В., Запорожец Д.Ю. Современные проблемы при размещении элементов СБИС // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 7 (120). – С. 68-73.

8. Курейчик В.В., Курейчик В.М. Генетический алгоритм размещения графа // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2000. – № 5. – С. 67-78.
9. Kureichik V.M., Kureichik V.V. Genetic algorithm for the graph placement // Journal of Computer and Systems Sciences International. – 2000. – Vol. 39, No 5. – P. 733-740.
10. Бушин С.А., Курейчик В.В. Размещение узлов и блоков радиоэлектронной и электронно-вычислительной техники на основе бионических методов // Программные продукты и системы. – 2010. – № 1. – С. 12-14.
11. Kurejchik V.V., Kurejchik V.M. On genetic-based control // Автоматика и телемеханика. – 2001. – № 10. – С. 174-187.
12. Курейчик В.В., Сороколетов П.В. Концептуальная модель представления решений в генетических алгоритмах // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2008. – № 9 (86). – С. 7-12.
13. Курейчик В.М., Курейчик В.В., Родзин С.И. Модели параллелизма эволюционных вычислений // Вестник РГУПС. – 2011. – № 3. – С. 93-97.

REFERENCES

1. Kureychik V.V., Kureychik V.M., Gladkov L.A., Sorokoletov P.V. Bionspirovannyye metody v optimizatsii [Inspirovannyye metody in optimization]. Moscow: Fizmatlit, 2009, 384 p.
2. Kureychik V.V., Kureychik V.V. Arkhitektura gibridnogo poiska pri proektirovani [Hybrid search when designing], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2012, No. 7 (132), pp. 22-27.
3. Gladkov L.A., Kureychik V.V., Kureychik V.M. Geneticheskie algoritmy [Genetic algorithms]. Moscow: Fizmatlit, 2010, 366 p.
4. Dorigo M., Maniezzo V., Colomi A. The Ant System: Optimization by a colony of cooperating objects, *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics*, 1996, Part B, No. 26 (1), pp. 29-41.
5. Kureychik V.V., Kureychik V.M., Rodzin S.I. Teoriya evolyutsionnykh vychisleniy [The theory of evolutionary computation]. Moscow: Fizmatlit, 2012, 260 p.
6. Bova V.V., Kureychik V.V. Integrirovannaya podsistema gibridnogo i kombinirovannogo poiska v zadachakh proektirovaniya i upravleniya [Integrated hybrid and combined search in the problems of design and management], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2010, No. 12 (113), pp. 37-42.
7. Kureychik V.V., Zaporozhets D.Yu. Sovremennyye problemy pri razmeshchenii elementov SBIS [Modern problems when placing elements of VLSI], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2011, No. 7 (120), pp. 68-73.
8. Kureychik V.V., Kureychik V.M. Geneticheskiy algoritm razmeshcheniya grafa [Genetic algorithm for accommodation count], *Izvestiya RAN. Teoriya i sistemih upravleniya* [Izvestiya of the Russian Academy of Sciences. Theory and control system], 2000, No. 5, pp. 67-78.
9. Kureichik V.M., Kureichik V.V. Genetic algorithm for the graph placement, *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 2000, Vol. 39, No. 5, pp. 733-740.
10. Bushin S.A., Kureychik V.V. Razmeshchenie uzlov i blokov radioelektronnoy i elektronno-vychislitelnoy tekhniki na osnove bionicheskikh metodov [Accommodation units and blocks for radio-electronic and computer engineering on the basis of the bionic methods], *Programmye produkty i sistemy* [Software and systems], 2010, No. 1, pp. 12-14.
11. Kurejchik V.V., Kurejchik V.M. On genetic-based control, *Avtomatika i telemekhanika* [Automatics and telemechanics], 2001, No. 10, pp. 174-187.
12. Kureychik V.V., Sorokoletov P.V. Kontseptualnaya model predstavleniya resheniy v geneticheskikh algoritмах [Conceptual model of representations of solutions in genetic algorithms], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2008, No. 9 (86), pp. 7-12.
13. Kureychik V.M., Kureychik V.V., Rodzin S.I. Modeli parallelizma evolyutsionnykh vychisleniy [Concurrency models of evolutionary computing], *Vestnik RGUPS* [Vestnik RGUPS], 2011, No. 3, pp. 93-97.

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

Курейчик Владимир Викторович – Южный федеральный университет; e-mail: vkur@tsure.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371651; кафедра систем автоматизированного проектирования; зав. кафедрой; д.т.н.; профессор.

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

Kureichik Vladimir Victorovich – Southern Federal University; e-mail: vkur@tsure.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371651; the department of computer aided design; head of department; dr. of eng. sc.; professor.

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

УДК 658.512.2.011.5

В.В. Лисяк, Н.К. Лисяк

ПРОГРАММНЫЕ ПРОДУКТЫ САПР УСТРОЙСТВ С ПРОГРАММИРУЕМОЙ ЛОГИКОЙ*

Рассмотрены программные продукты, предназначенные для проектирования электронных устройств на базе ПЛИС (FPGA, программируемая логика) с использованием большого набора процессорных ядер, VHDL-ввода проекта и VHDL-моделирования для многих типов программируемых интегральных схем. Информация в статье приводится на период до 2013 года и содержит сведения о производителях программных продуктов САПР так или иначе представленных в России. Формализация процедур структурного синтеза в общем случае затруднительна, поэтому для их эффективного выполнения обычно используют специализированные программы, ориентированные на ограниченный класс проектируемых схем [1]. Характерные особенности технологии изготовления и проектирования имеют микропроцессоры и схемы памяти, заказные и полузаказные СБИС, в том числе программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС). Эти особенности обуславливают различия в методах проектирования схем и требуют их отражения в применяемом математическом и программном обеспечении ECAD. Кратко рассмотрены программные продукты в области проектирования электронных устройств на базе ПЛИС (FPGA, программируемая логика) и предназначенные для проектирования на схемотехническом уровне с последующей передачей данных в программы, создающие печатные платы или ПЛИС; отладки процессорных ядер на уровне исходных кодов; создание проектов на кристаллах всех ведущих производителей с легким переходом с выбранного кристалла на другой кристалл; логического и физического синтеза высокопроизводительных ПЛИС типа CPLD и FPGA.

Программируемая логика; структурный синтез; программируемые вентиляемые матрицы; программируемые логические схемы; процессорное ядро.

V.V. Lisyak, N.K. Lisyak

CAD SOFTWARE PRODUCTS FOR PROGRAMMABLE LOGIC DEVICES

There are reviewed software products for PLD-based (FPGA, programmable logic) electronic devices design using large set of processor cores, VHDL-input of a project and VHDL-modeling for many types of programmable integrated circuits. The article includes data up to 2013 and contains information about CAD products represented in Russia. In the general case formalization of structure synthesis procedures is a complex problem, which is why for its effective realization special-purpose programs focused on limited class of designed circuits is actually used [1]. Microprocessors and memory circuits, full-custom and semi-custom VLSI, including programmable logic devices (PLD) have their own characteristic features in design and production technologies. These features determine differences in circuit design methods and require reflection in applied ECAD mathematical and software tools. The work contains short review of software products in the fields of PLD-based electronic devised design (FPGA, programmable logic) focused on

* Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект № 12-01-00100).