

17. Goldman R., Bartleson K., Wood T., Melikyan V. Synopsys' Interoperable Process Design Kit, *European Workshop on Microelectronics Education*, 2010.
18. Synopsys Inc. Synopsys products. Available at: <http://www.synopsys.com/>.
19. HSPICE User Guide: Simulation and Analysis.
20. Volobuev P.S., Gavrilov S.V., Ryzhova D.I. Metod snizheniya staticheskoy moshchnosti КМОП-skhem na osnove otklyuchayushchikh tranzistorov s kontrolem bystrodeystviya [A method of reducing static power CMOS circuits based on the breaking of the transistors control the speed], *Problemy razrabotki perspektivnykh mikro- i nanoelektronnykh sistem – 2014. Sbornik trudov* [Problems of development of perspective micro - and nanoelectronic systems ' 2014 – proceedings of], under ed. academician of RAS A.L. Stempkovskogo. Moscow: IPPM RAN, 2014, Part I, pp. 101-106.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор А.Л. Глебов.

Гаврилов Сергей Витальевич – Институт проблем проектирования в микроэлектронике РАН (ИППМ РАН); e-mail: [sergey_g @ippm.ru](mailto:sergey_g@ippm.ru); 124365, Москва, Зеленоград, ул. Советская, 3; тел.: +74997299890; отдел автоматизации проектирования цифровых схем; профессор; зав. отделом.

Волобуев Павел Сергеевич – e-mail: synopsis@bk.ru; отдел автоматизации проектирования цифровых схем, инженер-исследователь.

Рыжова Дарья Игоревна – e-mail: ryzhova_d@ippm.ru; отдел автоматизации проектирования цифровых схем, м.н.с.

Стемпковский Александр Леонидович – e-mail: stal09@ippm.ru; директор, профессор; академик РАН.

Gavrilov Sergey Vitalievich – Institute for design problems in microelectronics of Russian Academy of Science; e-mail: sergey_g @ippm.ru; 124365, Zelenograd, Sovetskaya Street, 3; phone: +74997299890; head of department.

Volobuev Pavel Sergeevich– e-mail: synopsis@bk.ru; research engineer.

Ryzhova Daria Igorevna – e-mail: ryzhova_d@ippm.ru; junior research scientist.

Stempkovsky Aleksandr Leonidovich – e-mail: stal09@ippm.ru; director.

УДК 681.3.001.63

С.Н. Щеглов

ПРОЦЕСС ПОДГОТОВКИ И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ЗАДАЧ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ*

Рассмотрен модифицированный подход к подготовке и принятию решений для задач проектирования и управления. В настоящее время осуществляется разработка новых теорий, принципов и на их основе производится построение интегрированных математических моделей и методов для эффективного принятия решений. Это особенно актуально в высокотехнологичных областях, например, связанных с внедрением биоинспирированных, информационных, ядерных и нанотехнологий, автоматизации проектирования и управления. При этом важным является создание множества информационных интеллектуальных систем поддержки принятия решений, ориентированных на заданные предметные области. Для надежности принимаемых решений используют многовариантный подход, основанный на сравнении наборов возможных решений. Поддержка принятия решений может быть рассмотрена как процесс, представляющий собой, непрерывный поток действий от стадии представления до проектирования и выбора. Представлена структурная схема принятия решений. Данный подход используется при построении новых информационных технологий выбора оптимальных и квазиопти-

* Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ. Проект № 8.823.2014.

мальных результатов применительно к задачам проектирования и управления. Поддержка принятия решений требует работы не только с данными или с информацией, но с информационными моделями, знаниями и экспертными системами. При этом основой анализа и получения решений может быть информационное и эволюционное моделирование, генетический поиск, адаптация. Рассмотрена схема комбинированного поиска решения задачи размещения элементов схем ЭВА, построенная на основе вышеизложенных принципов. Приведены требования, предъявляемые к построению алгоритмов проектирования, на основе методов инспирированных природой. Рассмотрена работа алгоритма размещения элементов схем ЭВА на основе поведения колонии пчел. Приведены вычислительные эксперименты.

Управление; автоматизация проектирования; модель; алгоритм; оптимум; вычислительные эксперименты; графовые модели; принятие решений; поиск; система.

S.N. Shcheglov

THE PROCESS OF PREPARATION AND ADOPTION OF SOLUTIONS FOR THE PROBLEMS OF DESIGN AND MANAGEMENT

In operation the modified approach to the preparation and adoption of solutions for the problems of design and management. Currently the development of new theories, principles, and on their basis construct the integrated mathematical models and methods for effective decision making. This is especially true in high-tech fields, such as those associated with the implementation of a bioinspired, information, nuclear, nanotechnology, automation, design and management. In this case it is important to have a set of informational intelligent systems for decision support, focused on a defined subject area. For reliability of solutions using a multivariate approach, based on a comparison of sets of possible solutions. The decision support can be viewed as the process of representing a continuous stream of action from the stage of submission to the design and choice. The block diagram of decision making. This approach is used to build new information technologies the selection of optimal and quasi-optimal results in relation to the problems of design and management. The decision support requires working not only with the data or with information, but with information models, knowledge and expert systems. In this case the basis of the analysis and decisions can be informational and evolutionary modeling, genetic search, adaptation. The scheme of a combined search of solving the problem of placing circuit elements VLSI, built on the basis of the above principles. Given the requirements for constructing algorithms design, based on methods inspired by nature. Considered the algorithm of placing circuit elements of VLSI based on the behavior of colonies of bees. Given the computational experiments.

Management; design automation; model; algorithm; optimum; computational experiments; graph models; decision making; search; system.

Введение. Особое внимание в современных интеллектуальных информационных системах уделяется разработке и использованию новых гибридных технологий, позволяющих эффективно работать с нечеткой или неполной входной информацией в процессе выработки и принятия решений по различным задачам оптимизации и управления. Постоянно происходит увеличение потоков информации, содержащих различные типы данных и знаний, с которыми сталкиваются лица, принимающие решение. В настоящее время осуществляется разработка новых теорий, принципов и на их основе производится построение интегрированных математических моделей и методов для эффективного принятия решений. Это особенно актуально в высокотехнологичных областях, например, связанных с внедрением биоинспирированных, информационных, ядерных и нанотехнологий, автоматизация проектирования и управления. При этом важным является создание множества информационных интеллектуальных систем поддержки принятия решений, ориентированных на заданные предметные области. Кроме того, требуют своего решения задачи выбора необходимой информации из множества неопределенных данных и знаний, а также получения решения в реальном масштабе времени на основе композитной обработки информации. Эффективным способом анализа и обработки множества данных и знаний является моделирование эволюцион-

ного развития природы, адаптация, иерархическая самоорганизация, использование генетического поиска, программирования, бионических, генетических и квантовых алгоритмов [1–5].

Цель исследования. Применение методов моделирования эволюции в системах поддержки принятия решений (СППР) для задач проектирования и управления позволяет закреплять эффективные решения, полученные на предварительных этапах, и использовать их в последующих итерациях. Вся природа эволюции устроена так, что в ней действуют принципы оптимизации, экономии и ускорения. Эволюция невозможна без смены одного устойчивого состояния системы другим, без конкуренции, без конфликтов. В этом случае трудоемкость работы СППР резко возрастает, возникает проблема «проклятия размерности» и использовать NP-полные, NP-трудные и алгоритмы с экспоненциальной временной сложностью становится невозможным из-за необходимости обработки огромных массивов информации. Тогда становится необходимой интеграция биоинспирированных и поисковых методов с целью модернизации СППР в автоматизированном проектировании. Одним из таких подходов является использование методов моделирования эволюции, применение биоинспирированных, бионических, квантовых и генетических алгоритмов, эволюционных стратегий, адаптации и взаимодействия с внешней средой. Адаптация позволяет накапливать и использовать информацию в СППР, создавать базы знаний и хранилища данных, осуществлять поиск и извлечение знаний при первоначальной неопределенности и изменяющихся внешних условиях.

В последнее время началось исследование возможностей применения и разработка алгоритмов, инспирированных природными системами, для эффективного принятия решения в задачах САПР. При этом постоянно возникает конфликт между сложностью САПР и требованиями принятия эффективных решений в реальном масштабе времени. Данные проблемы не могут быть полностью решены распараллеливанием процесса принятия решений, увеличением числа операторов, пользователей и ЛПР. Одним из возможных подходов к решению этой проблемы является использование новых технологий на стыке информатики, бионики и автоматизации проектирования. По мнению автора, одна из таких технологий может базироваться на идеях моделирования эволюции и методах, инспирированных природными системами.

В этой связи разработка новых принципов и подходов принятия эффективных решений в задачах проектирования и управления имеет важное экономическое и социальное значение и является актуальной и важной.

В данной работе рассматривается применение интегрированных методов, используемых при разработке информационных систем поддержки решений в задачах проектирования и управления.

1. Процесс подготовки и принятия решений. Для надежности принимаемых решений используют многовариантный подход, основанный на сравнении наборов возможных решений. Поддержка принятия решений может быть рассмотрена как процесс, представляющий собой непрерывный поток действий от стадии представления до проектирования и выбора. В процессе предусмотрена возможность возврата на предыдущую стадию (обратная связь) [5–8]. На рис. 1 представлена обобщенная схема принятия решений. Процесс включает три главных этапа: представления, проектирования, выбора.

Моделирование является основной частью этого процесса. Процесс принятия решений начинается на этапе представления, где проверяется предметная область, идентифицируется и определяется задача. На этапе проектирования строится модель, которая представляет и описывает систему. Это делается путем допущений, которые упрощают действительность путем описания отношений между всеми переменными. Затем проверяется адекватность модели и устанавливаются критерии для оценки альтернативных направлений. На этапе выбора осуществляется

верификация и испытание предложенного решения. Если предложенное решение окажется приемлемым, то оно готово для завершающего этапа: получение решения. Успешный результат завершает решение исходной задачи. При неудачном результате осуществляется возврат к ранним этапам процесса.

Этап представления начинается с определения организационных целей. На этой стадии отвечают на следующие вопросы: существует ли проблема, как идентифицировать ее признаки, как определить ее значимость и в итоге окончательно представить постановку задачи.



Рис. 1. Структурная схема принятия решений

Действия по классификации задачи представляют собой концептуализацию проблемы и отнесения ее к определенной категории. Важным признаком классификации является степень очевидной структурированности задачи. Различают две противоположные ситуации применительно к структурированности задачи принятия решения. С одной стороны, находятся хорошо структурированные задачи, которые являются повторяющимися и рутинными. Для их решения строятся стандартные модели. Это класс программируемых задач. С другой стороны находятся слабо структурированные или непрограммируемые задачи, которые являются новыми, неповторяющимися и нестандартными. Кроме того, существуют частично структурированные задачи между этими двумя крайними позициями.

Многие сложные задачи могут быть разделены на подзадачи в процессе декомпозиции. Решение более простых подзадач может помочь в решении сложной задачи. Кроме того, некоторые слабо структурированные задачи могут иметь некоторое количество высоко структурированных подзадач.

Этап проектирования влечет порождение, развитие и анализ возможных направлений действия. На этом этапе строится, испытывается и проверяется модель ситуационной задачи. Моделирование включает концептуализацию задачи, а также ее абстрагирование в количественной и(или) качественной формах. Для математической модели идентифицируются переменные и устанавливаются уравнения, описывающие их отношения. При необходимости производится упрощение путем принятия набора определенных допущений. Однако должно учитываться и соблюдаться правильное равновесие между степенью упрощения модели и ее адекватностью представления действительности.

Граница между этапами проектирования и выбора довольно расплывчата, т.к. некоторые действия могут быть совершены как при проектировании, так и на стадии выбора. Кроме того, возможны частые возвраты со стадии выбора на стадию проектирования. Этап выбора включает поиск, оценку и выработку рекомендаций по приемлемому решению на модели. Решение на основе модели - это набор значений переменных для выбранной альтернативы.

Существует несколько основных подходов к реализации поиска на этапе выбора решения, зависящих от критерия выбора. Это оптимизационные методы, слепой поиск и эвристический поиск. Рассмотренную методику возможно использовать при построении новых информационных технологий выбора оптимальных и квазиоптимальных результатов применительно к задачам проектирования и управления.

Поддержка принятия решений требует работы не только с данными или с информацией, но с информационными моделями, знаниями и экспертными системами [9–12]. При этом основой анализа и получения решений может быть информационное и эволюционное моделирование, генетический поиск, адаптация. Далее рассмотрим схему комбинированного поиска решения задачи размещения элементов схем ЭВА, построенную на основе вышеизложенных принципов.

2. Схема комбинированного поиска. Упрощенная схема комбинированного поиска для решения задачи размещения представлена на рис. 2 [13]. Здесь на «вход» поступают данные, полученные с предыдущего шага конструкторского проектирования (этап компоновки). В блоке предварительного размещения возможно использование «быстрых» алгоритмов (парных перестановок, метод ветвей и границ, релаксации и т.п.) для получения первоначального размещения. Далее, на основе знаний и опыта экспертов (блоки ЭС, БД, БЗ), происходит выбор методики, наиболее приемлемой для решения поставленной задачи.

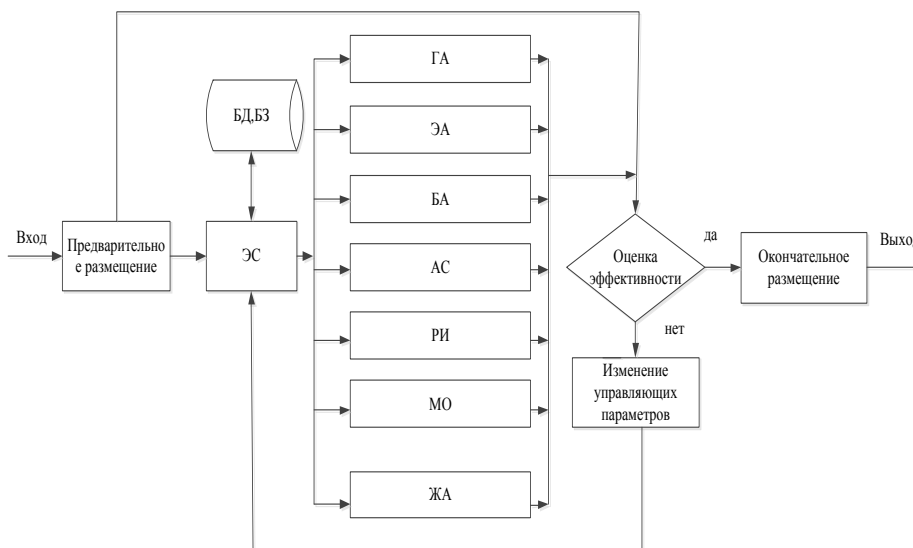


Рис. 2. Упрощенная схема комбинированного поиска

В данном случае используются ИПА – алгоритмы, инспирированные природными системами. АС – модифицированный алгоритм Ant Colony, РИ – алгоритм на основе роевого интеллекта, БА, ГА, ЖА, ЭА и МО – бионический, генетический, жадный, эволюционный и моделирования отжига алгоритмы размещения.

Затем происходит оценка эффективности полученного решения. В случае получения удовлетворительного результата происходит окончательный вариант размещения на следующий этап конструкторского проектирования (трассировка). Иначе происходит изменение управляющих параметров, процесс повторяется либо до достижения критерия останова, либо до получения приемлемого решения.

Для решения задач большой размерности возможно использование технологии распараллеливания алгоритмов [14–15].

Приведем требования, предъявляемые к построению алгоритмов проектирования, на основе методов инспирированных природой [10, 12, 16].

1. Построение графовых и гиперграфовых моделей, ориентированных на исходную схему и область размещения.
2. Анализ модели коммутационной схемы для выявления массивов, на основе которых будут создаваться строительные блоки (группы альтернативных решений);
3. Построение комплексного интегрированного критерия с учетом величины энергосбережения, задержки сигналов и др. современных частных критериев.
4. Формирование начальных популяций для ИПА размещения необходимо осуществлять по комплексному критерию, а не только по связности.
5. Формирование популяции для следующей генерации алгоритма должно производиться на основе варьирования ее численности и других методов адаптации.
6. Проведение этапа миграции.
7. Процедура селекции будет выполняться на основе экспертной подсистемы (ЛПР) и внешней среды.
8. По завершении процедуры размещения строительных блоков необходимо выполнить процедуру размещения элементов внутри каждого блока с учетом информации об их взаиморасположении, без наложения друг на друга.

На основе перечисленных требований был разработан ряд инспирируемых природой алгоритмов размещения элементов схем ЭВА [17, 19]. Пример работы одного из них представлен далее.

3. Алгоритм размещения элементов схем ЭВА. Постановка задачи. Задача размещения относится к классу оптимизационных задач. Данную задачу можно представить в виде кортежа длины три:

$$\langle G, D, Q \rangle,$$

где G – рассматриваемый объект оптимизации (в данном случае граф $G = (X, U)$); D – ограничения: $d_{ij} \geq 0$, d_{ij} – целое, $i=1, \dots, n$; $j=1, \dots, n$; $c_{ij} \geq 1$, c_{ij} – целое, $i=1, \dots, n$; $j=1, \dots, n$; $n \leq p \cdot q$.

Каждый элемент занимает только одну позицию:

$$m \leq \frac{n(n-1)}{2}.$$

Q – критерий оптимизации: длина самой длинной связи, выражаемая целевой функцией:

$$F = \max(|x_i - x_j| + |y_i - y_j|),$$

где $1 \leq i \leq n$, $1 \leq j \leq n$.

Требование оптимизации: $F \rightarrow \min$.

Работа алгоритма. Рассмотрим работу алгоритма размещения элементов схем ЭВА на основе поведения колонии пчел.

1. Ввод схемы и параметров алгоритма. Посадочные места под компоненты имеют фиксированные габариты в виде прямоугольников. Вначале вводятся параметры поля x и y , где x – количество посадочных мест по горизонтали, y – количество посадочных мест по вертикали. После чего вводятся количество дета-

лей, размещенных в этих ячейках. Количество посадочных мест должно быть меньше, чем количество компонентов. Также вводится матрица связности. В нашем случае можно выбрать вариант: генерировать матрицу связности случайным образом (random) или корректировать в ручном режиме. Матрица связности определяет привязку компонентов к посадочным местам. Схема генерируется случайным образом, поскольку задача связывать программу с какой-то конкретной схемой не стоит. Так же вводим данные для биониспирированного алгоритма. Это число итераций, число разведчиков и число фуражиров (пчелы сборщики).

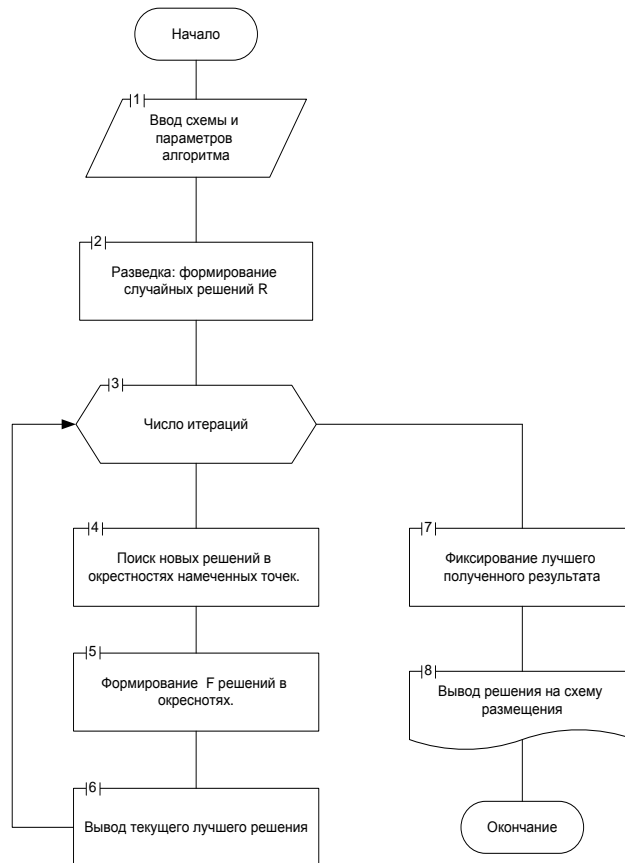


Рис. 3. Укрупненная структура алгоритма колонии пчел

2. Разведка формирования случайных решений R . Разведчики вылетают из улья, тем самым формируют строку решения для каждой целевой функции в области поиска. После чего они возвращаются в улей и сообщают фуражирам о найденных решениях (значение целевой функции в нашей задаче – это минимальное число связей между элементами). После чего пропорционально значению целевой функции вылетают фуражиры.

3. Число итераций задается в исходных данных. По достижении этого параметра наилучшие значения фиксируются.

4. Поиск новых решений в окрестностях намеченных точек. После того как фуражиры вылетели из улья, они начинают обследовать окрестности намеченных возможных точек решений, производя поиск наилучшего решения целевой функции в новых точках.

5. Формирование F решений в окрестностях. После поиска в окрестностях формируются лучшие решения. Критерием отбора является минимальное значение целевой функции из всех найденных.

6. Вывод лучшего решения. После проведенного поиска лучшего решения целевой функции сформируем матрицу решений целевой функции, и возвращаемся на новую итерацию поиска решений. Количество поиска решений полностью зависит от количества итераций.

7. Фиксирование лучшего полученного результата за все итерации. После нахождения лучшего решения целевой функции результат фиксируется в матрицу связности.

8. Вывод решения на схему. Полученное решение выводится графически в виде размещения компонентов (деталей в посадочных местах). Те элементы, которые до этого были размещены, перераспределяются и устанавливаются в новые посадочные места, предварительно размещенные на коммутационном поле.

4. Вычислительные эксперименты. При использовании рассмотренного комбинированного подхода поиск решения задачи размещения производится на основе ИПА. Исходя из этого, при проведении экспериментальных исследований проводилось сравнение работы модифицированного генетического алгоритма с алгоритмом пчелиной колонии. Критериями сравнения являются: время работы алгоритма, начальная суммарная длина связей, конечная суммарная длина связей, самая длинная, самая короткая [18–20]. Графики основных зависимостей представлены на рис. 4, 5. Следует отметить, что при попадании в локальный оптимум увеличение числа итераций позволят несколько повысить результат размещения, однако при этом увеличивается время, затраченное алгоритмом на поиск решения.

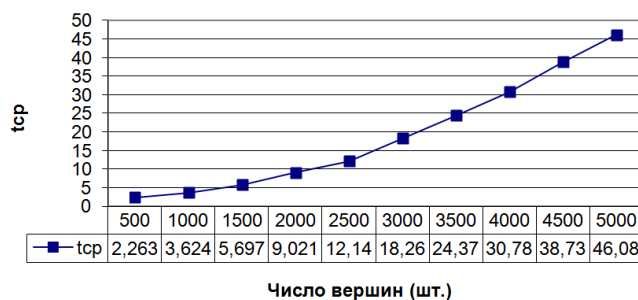


Рис. 4. График зависимости времени решения от числа элементов

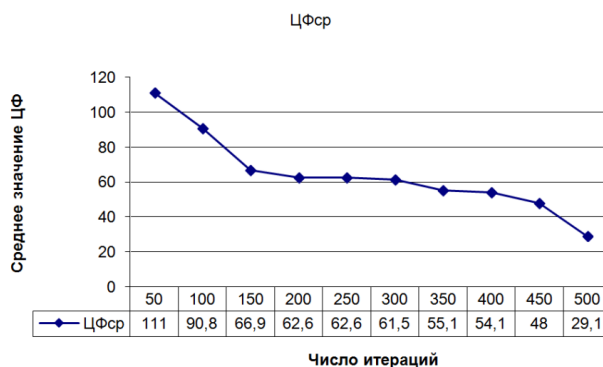


Рис. 5. График зависимости значения ЦФ от числа итераций

Заключение. В работе рассмотрен модифицированный подход к подготовке и принятию решений для задач проектирования и управления. Данный подход используется при построении новых информационных технологий выбора оптимальных и квазиоптимальных результатов применительно к задачам проектирования и управления. Предлагаемая методика решения задач принятия решений при проектировании на основе алгоритмов, инспирированных природными системами, позволяет расширить область поиска данных без увеличения времени работы, сократить преждевременную сходимости алгоритмов, повысить эффективность и качество получаемых решений. Эксперименты показали, что при размещении элементов на рабочем пространстве использование модифицированных ГО, нестандартных методов поиска и комбинированных моделей эволюции позволяет получать набор оптимальных решений. Из проведенных экспериментов следует, что в общем случае ВСА приближенно к $O(n^2)$. Анализ экспериментов позволяет отметить, что инспирированные природой алгоритмы требуют больших затрат времени, но позволяют получать набор локально-оптимальных решений, в частном случае – оптимальных решений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Петровский А.Б.* Теория принятия решений. – М.: Академия, 2009. – 400 с.
2. *Поспелов Д.А.* Данные и знания. Искусственный интеллект. В 3 кн. Кн. 1. – М.: Радио и связь, 1990. – 464 с.
3. *Норенков И.П.* Основы автоматизированного проектирования. Учебник для ВУЗов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 432 с.
4. *Alpert Ch., Mehta D.P., Sapatnekar S.S.* Handbook of Algorithms for Physical design Automation. – New York: Boca Raton, 2009.
5. *Курейчик В.М., Курейчик В.В.* Эволюционные, синергетические и гомеостатические стратегии в искусственном интеллекте: состояние и перспективы // Новости искусственного интеллекта. – 2000. – № 3. – С. 39-67.
6. *Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф.* Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб.: Питер, 2000. – 384 с.
7. *Мальшиев В.В., Пиявский Б.С., Пиявский С.А.* Методы принятия решений в условиях многообразия способов учета неопределенности // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2010. – № 1. – С. 46-61.
8. *Курейчик В.М., Лебедев Б.К., Лебедев В.Б.* Планирование сверхбольших интегральных схем на основе интеграции моделей адаптивного поиска // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2013. – № 1. – С. 84-101.
9. *Gladkov L.A., Kureichik V.V., Kravchenko Yu.A.* Evolutionary Algorithm for Extremal Subsets Comprehension in Graphs // World Applied Sciences Journal. – 2013. – № 24 (14). – P. 1212-1217.
10. *Курейчик В.М., Курейчик В.В., Родзин С.И.* Концепция эволюционных вычислений, инспирированных природными системами // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 4 (93). – С. 16-25.
11. *Курейчик В.М., Лебедев Б.К., Лебедев О.Б.* Гибридный алгоритм разбиения на основе природных механизмов принятия решений // Искусственный интеллект и принятие решений. – М.: Изд-во Институт системного анализа РАН, 2012. – С. 3-15.
12. *Kureichik V.V., Kureichik V.M., Sorokoletov P.V.* Analysis and a survey of evolutionary models // Journal of Computer and Systems Sciences International. – 2007. – Vol. 46, No. 5. – С. 779-791.
13. *Курейчик В.В., Курейчик В.В.* Архитектура гибридного поиска при проектировании // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 7 (132). – С. 22-27.
14. *Курейчик В.М., Курейчик В.В., Родзин С.И.* Модели параллелизма эволюционных вычислений // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2011. – № 3. – С. 93-97.
15. *Курейчик В.В., Курейчик В.М., Гладков Л.А., Сороколетов П.В.* Бионспирированные методы в оптимизации. – М.: Физмалит, 2009. – 384 с.

16. 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.
17. Лебедев Б.К., Лебедев В.Б. Размещение на основе метода пчелиной колонии // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 12 (113). – С. 12-19.
18. Гладков Л.А. Гибридный генетический алгоритм решения задачи размещения элементов СБИС с учетом трассируемости соединений // Вестник ростовского государственного университета путей сообщения. – 2011. – № 3. – С. 58-66.
19. Курейчик В.В., Курейчик Вл.Вл. Биоинспирированный алгоритм разбиения схем при проектировании СБИС // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 7 (144). – С. 23-29.
20. Кулиев Э.В., Лежебоков А.А. Исследование характеристик гибридного алгоритма размещения // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 3 (140). – С. 255-261.

REFERENCES

1. Petrovskiy A.B. Teoriya prinyatiya resheniy [The decision theory]. Moscow: Akademiya, 2009, 400 p.
2. Pospelov D.A. Dannye i znaniya. Iskusstvennyy intellect [Data and knowledge. Artificial intelligence]. In 3 books. Books 1. Moscow: Radio i svyaz', 1990, 464 p.
3. Norenkov I.P. Osnovy avtomatizirovannogo proektirovaniya. Uchebnik dlya VUZov [Fundamentals of CAD. Textbook for Universities]. Moscow: Izd-vo MGTU im. N.E. Bauman, 2009. 432 p.
4. Alpert Ch., Mehta D.P., Sapatnekar S.S. Handbook of Algorithms for Physical design Automation. New York: Boca Raton, 2009.
5. Kureychik V.M., Kureychik V.V. Evolyutsionnye, sinergeticheskie i gomeostaticheskie strategii v iskusstvennom intellekte: sostoyanie i perspektivy [Evolutionary, synergistic and homeostatic strategy in artificial intelligence: state and prospects], *Novosti iskusstvennogo intellekta* [News of Artificial Intelligence], 2000, No. 3, pp. 39-67.
6. Gavrilova T.A. Khoroshevskiy V.F. Bazy znaniy intellektual'nykh sistem. – St. Petersburg: Piter, 2000, 384 p.
7. Malyshev V.V., Piyavskiy B.S., Piyavskiy S.A. Metody prinyatiya resheniy v usloviyakh mnogoobraziya sposobov ucheta neopredelennosti [Methods of decision making in a variety of ways of accounting for the uncertainty], *Izvestiya RAN. Teoriya i sistemy upravleniya* [Journal of Computer and Systems Sciences International], 2010, No. 1, pp. 46-61.
8. Kureychik V.M., Lebedev B.K., Lebedev V.B. Planirovanie sverkhbol'shikh integral'nykh skhem na osnove integratsii modeley adaptivnogo poiska [The planning of very large integrated circuits based on the integration of adaptive search models], *Izvestiya RAN. Teoriya i sistemy upravleniya* [Journal of Computer and Systems Sciences International], 2013, No. 1, pp. 84-101.
9. Gladkov L.A., Kureichik V.V., Kravchenko Yu.A. Evolutionary Algorithm for Extremal Subsets Comprehension in Graphs, *World Applied Sciences Journal*, 2013, No. 24 (14), pp. 1212-1217.
10. Kureychik V.M., Kureychik V.V., Rodzin S.I. Kontseptsiya evolyutsionnykh vychisleniy, inspirirovannykh prirodnyimi sistemami [CONCEPT EVOLUTIONARY COMPUTATION IS INSPIRED BY NATURAL SYSTEMS], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2009, No. 4 (93), pp. 16-25.
11. Kureychik V.M., Lebedev B.K., Lebedev O.B. Gibridnyy algoritm razbieniya na osnove prirodnykh mekhanizmov prinyatiya resheniy [A hybrid algorithm for clustering based on natural mechanisms of decision-making], *Iskusstvennyy intellekt i prinyatie resheniy* [Artificial intelligence and decision making]. Moscow: Izd-vo Institut sistemnogo analiza RAN, 2012, pp. 3-15.
12. Kureichik V.V., Kureichik V.M., Sorokoletov P.V. Analysis and a survey of evolutionary models, *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 2007, Vol. 46, No. 5, pp. 779-791.
13. Kureychik V.V., Kureychik V.V. Arkhitektura gibridnogo poiska pri proektirovanii [THE ARCHITECTURE OF HYBRID SEARCH FOR DESIGN], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2012, No. 7 (132), pp. 22-27.
14. Kureychik V.M., Kureychik V.V., Rodzin S.I. Modeli parallelizma evolyutsionnykh vychisleniy [Concurrency models evolutionary computation], *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya* [Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya], 2011, No. 3, pp. 93-97.

15. Kureychik V.V., Kureychik V.M., Gladkov L.A., Sorokoletov P.V. Bionspirirovannyye metody v optimizatsii [Inspirovane methods in optimization]. Moscow: Fizmalit, 2009, 384 p.
16. Kureychik V.M., Lebedev B.K., Lebedev O.B. Razbienie na osnove modelirovaniya adaptivnogo povedeniya biologicheskikh sistem [Partitioning based on simulation of adaptive behavior of biological systems], *Neyrokomp'yutery: razrabotka, primeneniye* [Neurocomputers: development, application], 2010, No. 2, pp. 28-34.
17. Lebedev B.K., Lebedev V.B. Razmeshcheniye na osnove metoda pchelinoy kolonii [Plasement on the basis of the bee colony method], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2010, No. 12 (113), pp. 12-19.
18. Gladkov L.A. Gibridnyy geneticheskiy algoritm resheniya zadachi razmeshcheniya elementov SBIS s uchedom trassiruемости soedineniy [A hybrid genetic algorithm for solving the placement of elements VLSI traceability connections], *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya* [Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya], 2011, No. 3, pp. 58-66.
19. Kureychik V.V., Kureychik V.I. Bioinspirirovannyy algoritm razbieniya skhem pri proektirovani SBIS [Bioinspired algorithms for partitioning VLSI circuits in design], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2013, No. 7 (144), pp. 23-29.
20. Kuliev E.V., Lezhebokov A.A. Issledovaniye kharakteristik gibridnogo algoritma razmeshcheniya [Research parameters of hybrid algorithm for placement], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2013, No. 3 (140), pp. 255-261.

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

Щеглов Сергей Николаевич – Южный федеральный университет; e-mail: srg_sch@mail.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371625; кафедра систем автоматизированного проектирования; к.т.н.; доцент.

Shcheglov Sergey Nikolaevich – Southern Federal University; e-mail: srg_sch@mail.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371625; the department of computer aided design; cand. of eng. sc.; associate professor.

УДК 681.325

О.Б. Лебедев, О.А. Пурчина

РОЕВОЙ АЛГОРИТМ ТРАССИРОВКИ В ПРИКАНАЛЬНОЙ НАДЪЯЧЕЕЧНОЙ ОБЛАСТИ*

Представлен алгоритм синтеза эскиза однослойной трассировки в надъячеечной области (НЯО) топологии СБИС. Разработаны новые механизмы решения задачи трассировки, использующие математические методы, в которых заложены принципы природных механизмов принятия решений. Для синтеза эскиза однослойной трассировки используется новая парадигма комбинаторной оптимизации муравьиное дерево (trees ant colony optimization (T-ACO)), основанная на идеях адаптивного поведения муравьиной колонии и в первую очередь на идее непрямого обмена – стигмержи (stigmergy), позволяющая осуществлять синтез дерева. В отличие от канонической парадигмы муравьиного алгоритма муравьем на специальном графе поиска решений $G=(X,U)$ строится решающее дерево. Рассматривается структура и методика формирования специального графа поиска решений $G=(X,U)$. Описываются принципы интерпретации полученного муравьями решения в виде эскиза однослойной трассировки. Задача решается в различных постановках, отличающихся типом границ области трассировки. Программа трассировки в НЯО была реализована на языке C++ для IBM PC. Во всех перечисленных постановках был получен результат, близкий к оптимальному. Трудоемкость программы имеет вид $O(n^2)$, где n – число

* Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ. Проект № 8.823.2014.