

Раздел II. Вычислительная техника и информатика

УДК 004.82

Н.В. Холопова, А.Н. Самойлов, Э.В. Кулиев

БИОНИЧЕСКИЙ ПОИСК РЕШЕНИЯ КОНСТРУКТОРСКИХ ЗАДАЧ

Рассмотрена ключевая проблема роевых алгоритмов и бионического подхода, которая заключается в определении функции близости решений и исследовании возникающих окрестностей для решения задач оптимизации. Подробно рассмотрена одна из важнейших задач этапа конструкторского проектирования, а именно задача размещения компонентов сверхбольших интегральных схем (СБИС), качество решения которой напрямую влияет на качество трассировки схем и их тепловых, временных, энергетических характеристик. Решение поставленной проблемы окрестностей и близости решений внутри них продемонстрировано на примере исследования гибридными методами поиска решений. В основе гибридизации заложена последовательная работа генетических алгоритмов, в том числе генетического поиска и эволюционного моделирования, а также методов инспирированных поведением биологических систем, на примере работы колонии пчел. В статье предложена интегрированная схема поиска, позволяющая улучшать решения на каждой стадии процесса размещения. Бионический поиск при решении задачи размещения компонентов СБИС включает в себя последовательную работу двух алгоритмов: генетического и роевого. Отличительной особенностью разработанного бионического подхода является его универсальность в поиске оптимальных решений, за счет смены направления поиска. Предлагается технология построения генетических операторов, адаптированных для задачи размещения компонентов СБИС. Для получения эффективных решений предлагается использовать модифицированные генетические операторы. Применение «слепого» подхода подразумевает изменение структуры данных хромосомы (перестановка пары хромосом). Проведены экспериментальные исследования, подтверждающие, что временная сложность разработанного бионического поиска, не выходит за пределы полиномиальной зависимости, и может быть выражена формулой: $O(n \log n) - O(n^2)$, где n – число элементов схемы.

Роевой алгоритм; генетический алгоритм; адаптация; окрестность; популяция.

N.V. Kholopova, A.N. Samoylov, E.V. Kuliev

BIONIC DESIGN PROBLEMS FINDING SOLUTIONS

The article deals with the key problem swarm algorithms and bionic approach, which is to determine the function of the proximity of solutions and research emerging neighborhoods for solving optimization problems. Details considered one of the most important tasks of the design development phase, namely the task of placing the components of VLSI, the quality of decisions which directly affect the quality of the trace circuits and heat, time, energy characteristics. The solution of the problems of the surroundings and the proximity of solutions within them demonstrated by the research methods of hybrid solutions. At the heart of hybridization laid consistent work of genetic algorithms, including genetic research and evolutionary modeling and methods inspired by the behavior of biological systems on the example of the bee colony. The paper proposes a scheme of integrated search, which allows better decisions at every stage of the process of accommodation. Bionic search for solving the problem of VLSI component placement includes consistent performance of two algorithms: genetic and swarm. A distinctive feature of developed bionic approach is its flexibility in finding optimal solutions, by changing the direction of the search. The technology of constructing genetic operators adapted to the location problem of VLSI

components. For efficient solutions proposed to use modified genetic operators The use of "blind" approach involves changing the data structure of the chromosome (permutation of pairs of chromosomes). Experimental studies showing that the time complexity of the developed bionic search does not go beyond the polynomial dependence, and can be expressed by the formula: $O(n \log n) - O(n^2)$, where n – number of circuit elements.

Swarm algorithm; genetic algorithm; adaptation; neighborhood; population.

Введение. Методы автоматизированного конструкторского проектирования и технологической подготовки производства позволяют создавать высоконадежные сверхбольшие интегральные схемы (СБИС) в короткие сроки и при сравнительно низких затратах. Быстрый рост степени интеграции СБИС (проклятие размерности) приводит к увеличению трудоёмкости автоматизированного конструкторского проектирования [1, 2].

Одной из наиболее трудоёмких задач целочисленного программирования является задача размещения, рассматриваемая в комбинаторном направлении теории графов. Современная СБИС содержит десятки миллионов транзисторов, поэтому для эффективного решения задачи размещения необходимо разрабатывать различные эвристические подходы, основанные на моделировании природных систем [2, 3].

На сегодняшний день эффективным направлением в эволюционном моделировании являются вероятностные алгоритмы, основанные на процессах, происходящих в живой природе. Моделирование развития и совершенствования природы позволяет перейти к построению интеллектуальных систем. Проецируя закономерности окружающего мира на определенные сферы деятельности человека, мы получаем эффективный инструмент для решения задач проектирования СБИС.

В работе предлагается бионический алгоритм размещения компонентов СБИС на основе гибридного подхода [4, 5]. Данный метод является комбинацией двух алгоритмов: роевого, основанного на парадигме поведения пчелиного роя и генетического алгоритма. Основная идея разработанного бионического поиска заключается в исследовании окрестностей поиска для решения задач оптимизации. Важным механизмом в работе алгоритма колонии пчел является исследование перспективных позиций и их окрестностей в пространстве решений. Авторами предлагается принцип формирования окрестности позиций в пространстве решений, используя понятия окрестность в коммутационном поле (КП).

Для формирования окрестностей поиска будем использовать случайную перестановку в хромосоме. Перестановка осуществляется посредством изменения положения двух соседних ген в строке. В процессе нахождения функции окрестности, необходимо знать оценку качества позиции, а также полученного решения. Суть поиска заключается в нахождении целевой функции (ЦФ) с последующей парной перестановкой генов в строке.

Постановка задачи. Задача размещения может быть представлена следующим образом. Дано множество элементов (модулей) с расположенными на них терминалами (выводами), элементарная сеть, связывающая терминалы модулей. Задано коммутационное поле, на котором могут размещаться элементы. Необходимо разместить элементы на коммутационном поле с оптимизацией некоторых критериев качества. Входная информация включает описание модулей, в котором указывается форма, размеры, расположения терминалов на модулях, список цепей, указывающий на межсоединения модулей и описание коммутационного поля. Выходная информация представляет собой список x_u – координат на коммутационном поле для всех модулей. Пусть дано множество элементов и множество позиций. Имеем граф $G(X, U)$, где X – множество вершин ($|X|=n$), U – множество ребер. Целевая функция $F(P) = \alpha * n_1 * f_1 + \beta * n_2 * f_2$, где $F(P) \rightarrow \min$, f_1, f_2 – критерии суммарная длина связей и временная задержка; $\alpha + \beta = 1$; $0 \leq \alpha, \beta \leq 1$; α и β зна-

чения предлагаемые лицом принимающего решения (ЛПР), n_1 , n_2 – нормировочные показатели. В качестве критериев оптимизации используются суммарная длина связей и временная задержка [1].

Интегрированная схема поиска. Основной трудностью решения задачи размещения элементов с большим количеством локальных оптимумов является предварительная сходимость алгоритмов. Для эффективного решения этой проблемы предлагается подход, заключающийся в возможности улучшения полученного решения на каждой итерации [4, 5]. Это позволит сократить количество компьютерных ресурсов, время поиска и позволит получать оптимальные и квазиоптимальные результаты за полиномиальное время. Модифицированная интегрированная схема такого поиска приведена на рис. 1.

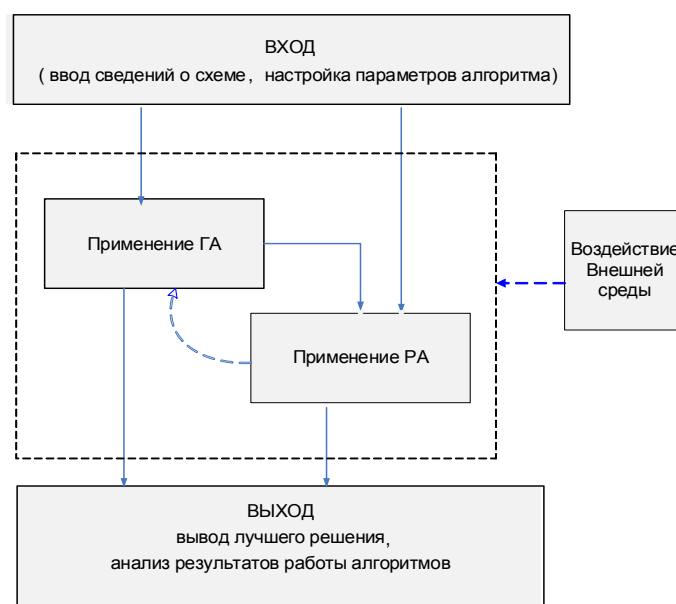


Рис. 1. Интегрированная схема поиска

Здесь ГА – генетический алгоритм, основанный на работе генетических операторов [6], РА – роевой алгоритм, основанный на методе пчелиной колонии [7–10].

Основными входными параметрами роевого алгоритма являются количество агентов R , максимальное количество итераций T_{max} , начальное количество агентов-разведчиков F_{xstart} , ограничение максимального количества агентов-разведчиков F_{xmax} .

В начальный момент времени все агенты расположены в "улье". В процессе поиска агенты связываются друг с другом косвенно. Каждый агент делает ряд локальных перемещений, и таким образом постепенно составляет решение задачи [9–12]. Процесс поиска является итеративной процедурой. Первая итерация считается законченной, тогда и только тогда, когда агенты найдут хотя бы одно допустимое решение. После чего лучшее решение сохраняется, а затем происходит переход к следующей итерации. Далее процесс поиска решений продолжается по достижению заданного числа итераций.

На каждой итерации алгоритма выполняется два этапа. На первом этапе агенты-разведчики случайным образом размещаются в пространстве поиска. На втором этапе осуществляется отправка агентов-фуражиров, которые прикреп-

лены к определённым источникам ресурса. Задача агентов–разведчиков заключается в формировании окрестности поиска решений, в то время как агенты–фуражиры ведут поиск оптимальных решений непосредственно в найденных разведчиками окрестностях [9–12].

Для получения эффективных решений предлагаются модифицированные генетические операторы [13, 14, 18]. При выполнении оператора репродукции создается возможность перехода из одной области поиска решений в другую. Тем самым возрастает вероятность нахождения глобального оптимума ЦФ. Формирование окрестности посредством оператора репродукции, возможно с применением двух подходов:

- ◆ «слепой» подход;
- ◆ направленный подход.

Применение «слепого» подхода подразумевает изменение структуры данных хромосомы (перестановка пары хромосом) (рис. 2).

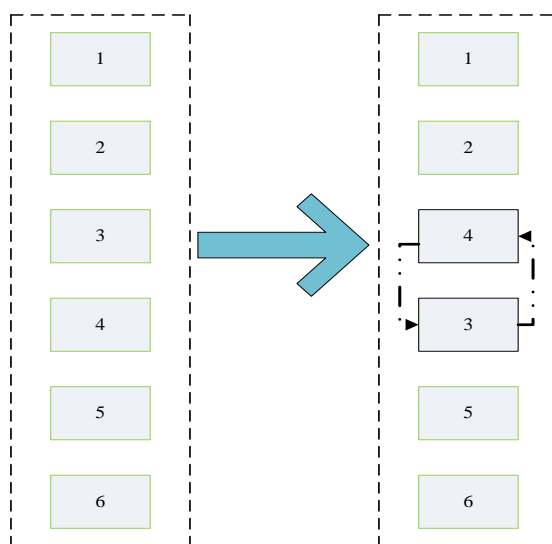


Рис. 2. «Слепой» подход

При «слепом» подходе незначительное изменение описания решений (хромосом) может привести к резкому изменению самого решения.

При направленном подходе используются механизмы изменения данных, которые приводят к незначительному изменению решений. При данном подходе, решения подобны, что дает возможность нахождения лучших решений.

Бионический поиск. Бионический поиск при решении задачи размещения компонентов СБИС включает в себя работу двух алгоритмов: генетического и роевого. Отличительной особенностью разработанного бионического подхода является его универсальность в поиске оптимальных решений, за счет смены направления поиска.

Генетический алгоритм выполняет функцию агентов – разведчиков. Популяция агентов трансформируется во множество источников, найденных агентами–разведчиками. Далее на данном источнике начинают работу агенты–фуражиры, формируя окрестность поиска.

Опишем работу генетического алгоритма. Она состоит из нескольких этапов [8, 15]:

- ◆ создание начальной популяции (совокупности множества альтернативных решений);
- ◆ создание «потомков» путем преобразований, таких как случайных, направленных или комбинированных;
- ◆ оценка эффективности каждого решения;
- ◆ селекция;
- ◆ сокращение популяции.

Применяемые методы селекции в ГА и их модификации [6,14], дают возможность в большинстве случаев решить проблему предварительной сходимости. Генетический алгоритм применяется до тех пор, пока: не будет получено решения заданного качества, или не будет выполнено заданное количество «шагов», или не будет выполнено время работы.

Далее рассмотрим роевой алгоритм. Он работает на основе самоорганизующейся системы, моделирующей поведение колонии пчёл, в которой пчёлы-фуражиры перемещаются к источникам пищи, возвращаются в улей, а также обладают информацией о полезности соответствующего источника [9–12, 16, 17].

Исходными параметрами в роевом алгоритме являются количество итераций и численность популяции. Далее создается начальная популяция (множество альтернативных решений). Используя методы генетического поиска оценивается целевая функция начальных решений. На основе генетического оператора селекции, происходит отбор лучших решений и переход от популяции агентов к популяции источников. Далее применяется роевой алгоритм, основанный на адаптивном поведении колонии пчел. На основе исследования окрестностей формируется множество решений [19, 20]. Далее производится оценка ЦФ полученного множества решений. Основываясь на полученных данных, происходит поиск решений в лучших окрестностях (с лучшими значениями ЦФ).

Следующий шаг позволяет за счет поиска и анализа лучших решений создать популяцию агентов, обладающих лучшими решениями по сравнению с другими агентами. Далее работа алгоритма проверяется на условие останова. Под данным условием понимается количество итераций. В том случае, если не все итерации пройдены и не найдено оптимальное решение, переходим к выполнению ГА, оценки ЦФ начальных решений, в противном случае - окончание работы алгоритма (рис. 3).

Одним из достоинств предложенного бионического поиска является наличие возможности улучшения решения на каждой итерации.

Экспериментальные исследования. При проведении анализа и исследования характеристик разработанного бионического поиска оптимальных решений, были использованы схемы с различным количеством элементов. Целью проведения экспериментов было установление временной сложности алгоритма (ВСА).

Для определения ВСА был проведён ряд экспериментов для разного набора тестовых примеров, различающихся количеством элементов в схеме [21]. Усредненные результаты экспериментов отражены на рис. 4.

Результаты исследований позволяют сделать вывод о том, что временная сложность разработанного бионического поиска, не выходит за пределы полиномиальной зависимости, и может быть выражена формулой: $O(n \log n) - O(n^2)$, где n – число элементов схемы.

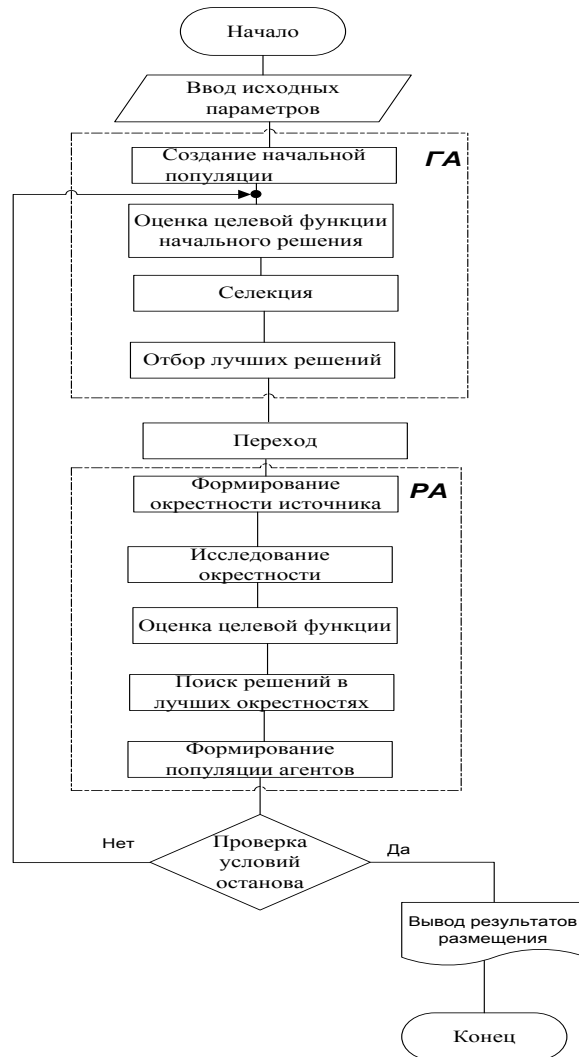


Рис. 3. Бионический поиск решений

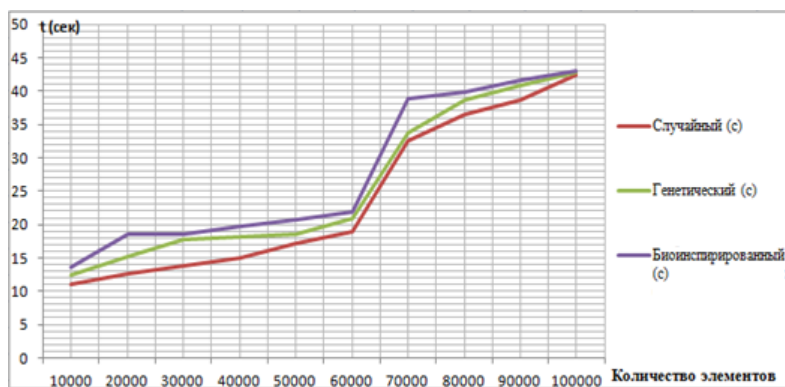


Рис. 4. График зависимости времени работы от количества элементов

Для определения эффективности разработанного бионического поиска были проведены исследования качества решения на нескольких тестовых примерах. Учитывалась зависимость условной целевой функции от количества размещаемых элементов. На рис. 5 приведена гистограмма сравнения качества решений.

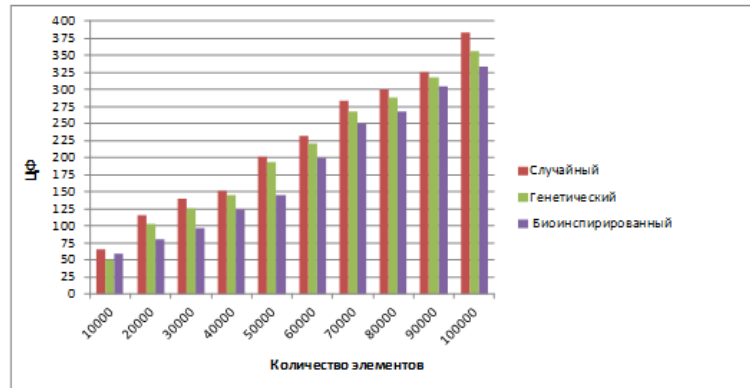


Рис. 5. Гистограмма сравнения качества решения

На основе анализа проведенных экспериментальных исследований можно сделать вывод, что наиболее эффективным является разработанный бионический поиск решений. Данный метод в среднем эффективнее на 15 % случайного алгоритма и на 10 % эффективнее классического генетического алгоритма.

На основе анализа проведенных исследований для задач малой размерности (до 10000 элементов) эффективным является эволюционный алгоритм. А при решении задачи размещения в размерности, приближенной к промышленным объемам (более 50000 элементов), эффективным является предложенный бионический поиск.

Заключение. Представлен подход к решению задачи размещения компонентов СБИС. Предложена модифицированная интегрированная схема поиска оптимальных решений. Отличительной особенностью данной схемы является возможность улучшения решения на каждой стадии процесса размещения. Разработан бионический поиск оптимальных решений, основная идея которого заключается в последовательной работе генетического и роевого алгоритмов. Описана технология построения генетических операторов, адаптированных для задачи размещения компонентов СБИС.

Разработана программная среда на языке C++. Проведен вычислительный эксперимент. 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 алгоритмов $\approx O(n \log n)$, в худшем случае – $O(n^2)$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Курейчик В.В., Запорожец Д.Ю. Современные проблемы при размещении элементов СБИС // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 7 (120). – С. 68-73.
2. Норенков И.П., Арутюнян Н.М. Эволюционные методы в задачах выбора проектных решений // Электронный журнал «Наука и образование». – 2007. – № 9.
3. Курейчик В.В., Курейчик Вл.Вл. Биоинспирированный поиск при проектировании и управлении // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 11 (136). – С. 178-183.
4. Teodorović D., Dell'Orco M. Bee Colony Optimization – a Cooperative Learning Approach to Complex Transportation Problems // Advanced OR and AI Methods in Transportation: Proceedings of 16th Mini-EURO Conference and 10th Meeting of EWGT (13-16 September 2005). – Poznan: Publishing House of the Polish Operational and System Research, 2005. – P. 51-60.

5. *Неупокоева Н.В., Курейчик В.М.* Квантовые и генетические алгоритмы размещения компонентов ЭВА: Монография. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010. – 144 с.
6. *Курейчик В.В., Курейчик В.М., Родзин С.И.* Теория эволюционных вычислений. – М.: Физматлит, 2012. – 260 с.
7. *Кулиев Э.В., Лежебоков А.А.* О гибридном алгоритме размещения компонентов СБИС // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 11 (136). – С. 188-192.
8. *Курейчик В.В., Курейчик Вл.Вл.* Архитектура гибридного поиска при проектировании // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 7 (132). – С. 22-27.
9. *Курейчик В.В., Запорожец Д.Ю.* Роевой алгоритм в задачах оптимизации // Известия ЮФУ. Технические науки – 2010. – № 7 (108). – С. 28-32.
10. *Lučić P., Teodorović D.* Computing with Bees: Attacking Complex Transportation Engineering Problems // International Journal on Artificial Intelligence Tools. – 2003. – No. 12. – P. 375-394.
11. *Quijano N., Passino K.M.* Honey Bee Social Foraging Algorithms for Resource Allocation: Theory and Application. – Columbus: Publishing house of the Ohio State University, 2007. – 39 p.
12. *Курейчик В.В., Подупанова Е.Е.* Эволюционная оптимизация на основе алгоритма колонии пчел // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 12 (101). – С. 41-46.
13. *Курейчик В.В., Сороколетов П.В.* Концептуальная модель представления решений в генетических алгоритмах // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2008. – № 9 (86). – С. 7-12.
14. *Лебедев Б.К., Лебедев О.Б.* Методы размещения: Монография. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2006.
15. *Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М., Сороколетов П.В.* Биоинспирированные методы в оптимизации. – М.: Физматлит, 2009. – 384 с.
16. *Pham D.T., Ghanbarzadeh A., Koç E., Otri S., Rahim S., Zaidi M.* The Bees Algorithm. 2008.
17. *Курейчик В.М., Кажаров А.А.* Использование роевого интеллекта в решении NP-трудных задач // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 7 (120). – С. 30-37.
18. *Лебедев Б.К.* Методы поисковой адаптации в задачах автоматизированного проектирования СБИС: Монография. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. – 192 с.
19. *Кулиев Э.В.* Задача размещения элементов ЭВА с использованием генетического алгоритма и алгоритма пчелиной колонии // Труды конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «IS–IT’12». Научное издание в 4-х т. Т. 3. – М.: Физматлит, 2012. – С. 99-104.
20. *Кулиев Э.В., Заруба Д.В.* Работа гибридного поиска размещения компонентов СБИС // Труды молодых ученых Южного федерального университета и Южного научного центра РАН «Высокопроизводительные вычислительные системы». Вып. 2. Изд-во Ростов-на-Дону – Таганрог, 2012. – С. 43-46.
21. *Кулиев Э.В., Лежебоков А.А.* Исследование характеристик гибридного алгоритма размещения // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 3 (140). – С. 255-261.

REFERENCES

1. *Kureychik V.V., Zaporozhets D.Yu.* Sovremennyye problemy pri razmeshchenii elementov SBIS [Modern placement's problems of VLSI], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2011, No. 7 (120), pp. 68-73.
2. *Norenkov I.P., Arutyunyan N.M.* Evolyutsionnye metody v zadachakh vybora proektnykh resheniy [Evolutionary techniques in the problems of choice of design solutions], *Elektronnyy zhurnal «Nauka i obrazovanie»* [Electronic journal "Science and Education"], 2007, No. 9.
3. *Kureychik V.V., Kureychik V.V.* Bioinspirirovannyy poisk pri proektirovanii i upravlenii [Search inspired by natural systems, for the design and management], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2012, No. 11 (136), pp. 178-183.
4. *Teodorović D., Dell'Orco M.* Bee Colony Optimization – a Cooperative Learning Approach to Complex Transportation Problems, *Advanced OR and AI Methods in Transportation: Proceedings of 16th Mini-EURO Conference and 10th Meeting of EWGT (13-16 September 2005)*. Poznan: Publishing House of the Polish Operational and System Research, 2005, pp. 51-60.
5. *Neupokoeva N.V., Kureychik V.M.* Kvantovyye i geneticheskiye algoritmy razmeshcheniya komponentov EVA: Monografiya [Quantum and genetic algorithms for placing components EVA: Monograph]. Taganrog: Izd-vo TTI YuFU, 2010, 144 p.
6. *Kureychik V.V., Kureychik V.M., Rodzin S.I.* Teoriya evolyutsionnykh vychisleniy [The theory of evolutionary computation]. Moscow: Fizmatlit, 2012, 260 p.

7. *Kuliev E.V., Lezhebokov A.A.* O gibridnom algoritme razmeshcheniya komponentov SBIS [On the hybrid algorithm of component placement VLSI], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2012, No. 11 (136), pp. 188-192.
8. *Kureychik V.V., Kureychik V.I.* 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.
9. *Kureychik V.V., Zaporozhets D.Yu.* Roevoy algoritm v zadachakh optimizatsii [Swarm algorithm in optimisation problems], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2010, No. 7 (108), pp. 28-32.
10. *Lučić P., Teodorović D.* Computing with Bees: Attacking Complex Transportation Engineering Problems, *International Journal on Artificial Intelligence Tools*, 2003, No. 12, pp. 375-394.
11. *Quijano N., Passino K.M.* Honey Bee Social Foraging Algorithms for Resource Allocation: Theory and Application. Columbus: Publishing house of the Ohio State University, 2007, 39 p.
12. *Kureychik V.V., Polupanova E.E.* Evolyutsionnaya optimizatsiya na osnove algoritma kolonii pchel [Artificial bee colony algorithm of evolutionary optimization], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2009, No. 12 (101), pp. 41-46.
13. *Kureychik V.V., Sorokoletov P.V.* Kontseptual'naya model' predstavleniya resheniy v geneticheskikh algoritмах [Conceptual model of decisions representation in genetic algorithms], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2008, No. 9 (86), pp. 7-12.
14. *Lebedev B.K., Lebedev O.B.* Metody razmeshcheniya: Monografiya [Methods of placement: a Monograph]. Taganrog: Izd-vo TRTU, 2006.
15. *Gladkov L.A., Kureychik V.V., Kureychik V.M., Sorokoletov P.V.* Bioinspirirovannye metody v optimizatsii [Bioinspired methods in optimization]. Moscow: Fizmatlit, 2009, 384 p.
16. *Pham D.T., Ghanbarzadeh A., Koç E., Otri S., Rahim S., Zaidi M.* The Bees Algorithm. 2008.
17. *Kureychik V.M., Kazharov A.A.* Ispol'zovanie roevogo intellekta v reshenii NP-trudnykh zadach [Swarm intelligence using for NP-tasks solving], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2011, No. 7 (120), pp. 30-37.
18. *Lebedev B.K.* Metody poiskovoy adaptatsii v zadachakh avtomatizirovannogo proektirovaniya SBIS: Monografiya [Methods of search engine adaptation in the tasks of computer-aided VLSI design: a Monograph]. Taganrog: Izd-vo TRTU, 2000, 192 p.
19. *Kuliev E.V.* Zadacha razmeshcheniya elementov EVA s ispol'zovaniem geneticheskogo algoritma i algoritma pchelinoy kolonii [The problem of placing of elements of EVA using a genetic algorithm and bee colony algorithm], *Trudy kongressa po intellektual'nym sistemam i informatsionnym tekhnologiyam «IS-IT'12»*. Nauchnoe izdanie v 4-kh t. [Proceedings of the Congress on intellectual systems and information technologies "IS-IT'12". Scientific publication in 4 vol.]. Vol. 3. Moscow: Fizmatlit, 2012, pp. 99-104.
20. *Kuliev E.V., Zaruba D.V.* Rabota gibridnogo poiska razmeshcheniya komponentov SBIS [The hybrid search component placement of VLSI], *Trudy molodykh uchenykh Yuzhnogo federal'nogo universiteta i Yuzhnogo nauchnogo tsentra RAN «Vysokoproizvoditel'nye vychislitel'nye sistemy»* [Proceedings of young scientists of Southern Federal University and South scientific center of RAS "High performance computing"]. Issue 2. Izd-vo Rostov-on-Don – Taganrog, 2012, pp. 43-46.
21. *Kuliev E.V., Lezhebokov A.A.* Issledovanie 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 рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Н.И. Витиска.

Холопова Нина Владимировна – Южный федеральный университет; e-mail: holopova.nina@mail.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371651; кафедра систем автоматизированного проектирования; магистр.

Самойлов Алексей Николаевич – e-mail: asamoylov@sfnu.ru; кафедра системного анализа и телекоммуникаций; доцент.

Кулиев Эльмар Валерьевич – e-mail: elmar_2005@mail.ru; кафедра систем автоматизированного проектирования; ассистент.

Kholopova Nina Vladimirovna – Southern Federal University; e-mail: xolopova.nina@mail.ru; 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371651; the department of computer aided design; masters degree.

Samoylov Aleksey Nikolaevich – e-mail: asamoylov@sfedu.ru; the department of system analysis and telecommunications; associate professor.

Kuliev Elmar Valerievich – e-mail: elmar_2005@mail.ru; the department of system analysis and telecommunications; assistant.

УДК 004.382.2

И.И. Левин, А.В. Пелипец, Д.А. Сорокин

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ LU-ДЕКОМПОЗИЦИИ НА РЕКОНФИГУРИРУЕМЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ: ОЦЕНКА И ПЕРСПЕКТИВЫ

Исследуется оценка производительности реконфигурируемых вычислительных систем в задаче LU-декомпозиции квадратной матрицы и рассматриваются перспективы реализации нового метода вычислений – без использования внешней памяти. Разложение матрицы на треугольные множители является основой многих алгоритмов, связанных с численным решением систем линейных алгебраических уравнений. Декомпозиция квадратной матрицы в виде произведения нижней треугольной матрицы L и верхней треугольной матрицы U обладает вычислительной сложностью, которая кубически зависит от количества уравнений в системе. Поэтому при решении задач с описанием сложных процессов и большими массивами исходных данных уже давно используются вычислительные мощности специализированных многопроцессорных систем (суперкомпьютеров). Однако, несмотря на постоянный рост производительности современных суперкомпьютеров, построенных по кластерной архитектуре, всем им присущ ряд принципиальных недостатков, ограничивающих реальную производительность, в том числе в задачах линейной алгебры. Прежде всего, это касается проблемы накладных расходов на реализацию межпроцессорных взаимодействий и хранения промежуточных результатов во внешней памяти. Предлагаемый в данной статье метод, в отличие от известных кластерных решений, позволяет осуществлять LU-разложение большой матрицы ($n=10^4$) в темпе поступления задачи, без использования внешней памяти. Метод основан на использовании многопроцессорных реконфигурируемых вычислительных систем (РВС), построенных на основе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС). Данный метод осуществим при наличии в системе реконфигурируемого аппаратного ресурса, достаточного для конвейерной реализации полного информационного графа задачи. Предварительные исследования показывают, что хотя такая реализация и возможна на существующих реконфигурируемых суперкомпьютерах, её удельная производительность в расчете на один вычислительный модуль остается низкой. В обозримой перспективе, при сохранении существующих темпов роста тактовых частот и логических емкостей ПЛИС, возможно создание реализации LU-разложения матрицы порядка $n=10^4$ при помощи одно вычислительного модуля реконфигурируемой системы.

Реконфигурируемые вычислительные системы; программируемые логические интегральные схемы; LU-разложение; Linpack Benchmark; удельная производительность.

I.I. Levin, A.V. Pelipets, D.A. Sorokin

ESTIMATION AND PROSPECTS OF SOLVING LU- DECOMPOSITION ON RECONFIGURABLE COMPUTER SYSTEMS

This paper examines the estimation of reconfigurable computer systems to solving LU-decomposition of a square matrix. Factorizations of matrix into low/upper triangular form are in the base of many algorithms for performing numerical linear algebra computations. The decomposition of a square matrix into a lower triangular matrix L and an upper triangular matrix U