

УДК 321.628

В.В. Курейчик, Вл.Вл. Курейчик**РАЗМЕЩЕНИЯ ФРАГМЕНТОВ СБИС НА ОСНОВЕ МЕХАНИЗМА АГРЕГАЦИИ ФРАКТАЛОВ***

Работа связана с решением одной из ключевых задач этапа автоматизированного конструкторского проектирования электронно-вычислительной аппаратуры – размещения фрагментов СБИС в ограниченной площади конструкции. Задача размещения фрагментов СБИС является NP-сложной и NP-трудной. В статье описывается комбинированный подход к решению данной задачи. Приведена постановка задачи размещения фрагментов СБИС в решетке. Предложена новая архитектура поиска, основанная на многоуровневом подходе. Принципиальным отличием предложенного подхода является разделение процесса поиска на два этапа и применение на каждом из этих этапов различных методов. На первом этапе поиска предложена и описана процедура сжатия коммутационной схемы на основе использования механизмов агрегации фракталов. На втором этапе поиска предложен генетический алгоритм, позволяющий производить эффективную перестановку компонентов СБИС. Это позволяет распараллеливать процесс решения и получать оптимальные и квазиоптимальные решения за время, сопоставимое со временем реализации итерационных алгоритмов. Описан пример решения задачи размещения на основе механизмов агрегации фракталов и генетического поиска. Проведен вычислительный эксперимент на тестовых примерах (бенчмарках). Качество размещений, полученных, на основе комбинированного поиска, в среднем на 6,38 % превосходит результаты размещения, полученные с использованием известных алгоритмов Capo 8.6, Feng Shui 2.0, Dragon 2.23, что говорит об эффективности предложенного подхода. Проведенные серии тестов и экспериментов показали перспективность применения такого подхода. Временная сложность разработанных алгоритмов в лучшем случае $\approx O(n \log n)$, в худшем случае – $O(n^3)$.

Комбинированный поиск; проектирование; СБИС; генетический алгоритм; агрегация фракталов.

V.V. Kureichik, Vl.Vl. Kureichik**VLSI FRAGMENT PLACEMENT ON THE BASIS OF FRACTAL AGGREGATION**

This article deal with one of the key problem of the computer aided design of the computer hardware such as the VLSI fragments placement within restricted area of chip. This problem belongs to NP-hard and NP-full class of the optimization problem. A combined approach to solution of the VLSI fragments placement problem is described in the article. The statement of the VLSI fragments placement problem is shown. The authors propose new search architecture on the basis of multi-level approach. The fundamental difference of the proposed approach is search process division into two stages. At each stage different methods are used. At the first stage of search the circuit compresses on the basis of the fractals aggregation mechanism. At the second stage a genetic algorithm is applied. It allows for effective transposition of VLSI fragments. This enables to parallelize the search process and get the optimal and quasi optimal solutions in a time comparable to the time of iterative algorithms implementation. The authors describe an example of the placement problem solution based on the fractals aggregation mechanism and genetic search. Computational experiments were carried out with the use of several benchmarks. The placement quality based on the combined search technique is higher at the average of 6.38 per cent if it is compared with the placement based on the well-known algorithms such as the Capo 8.6, Feng Shui 2.0, Dragon 2.23. Therefore we demonstrate the effectiveness of the suggested approach. Series of tests and experiments showed a perspective of this approach. The time complexity of the developed algorithms in the best case is represented by $\approx O(n \log n)$ and in the worst case is represented by $O(n^3)$.

Combined search; design; VLSI; genetic algorithm; fractals aggregation.

* Исследование выполнено за счет гранта РФФИ № 13-01-00371.

Введение. Основой научно-технического прогресса является широкое использование электронно-вычислительной аппаратуры (ЭВА) во всех областях техники и народного хозяйства. В настоящее время при разработке ЭВА до 70 % усилий затрачивается на разработку СБИС [1–6]. Одним из наиболее важных и трудоёмких этапов проектирования СБИС является этап конструкторского проектирования. Входной информацией для него являются электрические схемы, а выходной – топология схемы. На этапе конструкторского проектирования решаются задачи разбиения (компоновки), планирования, размещения, трассировки, компактизации и верификации. Среди типовых задач этапа конструкторского проектирования СБИС размещение их фрагментов и трассировка соединений являются проблемными.

В условиях современного развития информационных и нанометровых технологий в области производства возникает проблема перехода на новые методы проектирования. Существующие алгоритмы автоматизированного проектирования не справляются с решением данного класса задач 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 подходов, методов и алгоритмов решения данного класса задач. Одним из таких подходов является комбинированный поиск, использующий стратегии эволюционного моделирования и принципы природных механизмов принятия решений [7–10].

Постановка задачи размещения. В общем, виде задачу размещения неформально можно представить следующим образом. Дано множество элементов, находящихся в отношении связности, в соответствии с принципиально-электрической схемой создаваемого объекта. Требуется разместить элементы внутри коммутационного пространства, таким образом, чтобы заданная целевая функция достигала локального или оптимального значения. Основная цель алгоритмов размещения минимизировать общую площадь коммутационного пространства, где размещаются элементы, минимизировать общую суммарную длину всех цепей и минимизировать длину критических связей [2, 3, 5, 8, 11].

Исходными данными при решении задачи размещения являются прямоугольная конструкция (ячейка, кристалл, панель), число элементов, которое получено в результате компоновки, т.е. разбиения коммутационной схемы на части, и граф схемы соединений элементов или его матричный (списковый) эквивалент. На прямоугольную конструкцию накладывается декартова система координат с осями s и t , определяющая граф G представляющий собой координатную решетку. В каждую ячейку плоскости может быть размещена вершина графа или гиперграфа. Расстояние между вершинами вычисляется на основе одной из известных формул [5, 8, 11, 12]:

$$d_{i,j} = |s_i - s_j| + |t_i - t_j|, \quad (1)$$

или

$$d_{i,j} = \sqrt{(s_i - s_j)^2 + (t_i - t_j)^2}. \quad (2)$$

Здесь $(s_i, t_i); (s_j, t_j)$ – координаты x_i, x_j элементов (вершин графов), d_{ij} – расстояние между элементами x_i, x_j на заданной плоскости. Причем выражение (1) позволяет определить Манхеттоново расстояние, т.е. расстояние между двумя вершинами, определенное по вертикальным и горизонтальным направлениям. Шаг (расстояние) между двумя рядом лежащими вершинами по горизонтали и вертикали считается равным единице. Выражение (2) позволяет вычислить прямолинейное расстояние между двумя вершинами. Тогда общая длина всех соединений (ребер модели) определяется по известной формуле [2]:

$$L(G) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} c_{ij}. \quad (3)$$

Здесь $L(G)$ – общая суммарная длина соединений, c_{ij} – количество проводников, соединяющих элементы x_i и x_j . Требование оптимизации: $L(G) \Rightarrow \min$.

Отметим, что при размещении элементов минимизация суммарной длины проводников обычно приводит к минимизации числа внутрисхемных пересечений, числа изгибов и суммарной длины критических связей.

Описание механизма агрегации фракталов. Одним из основных путей уменьшения сложности задач размещения является сокращение их размерности. В основном, уменьшение размерности задачи выполняются 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 СБИС (групп транзисторов), эффективным является многоуровневое макро моделирование. При этом исходная задача большой размерности (проблема размещения СБИС) разбивается на множество иерархически вложенных друг в друга идентичных задач (размещение фрагментов СБИС) значительно меньшей размерности, решаемых одним базовым оптимизационным методом.

В 1980 г. Бенуа Мандельброт указал на фрактальную геометрию естественных систем [13]. Информационные свойства фракталов близки к свойствам живой клетки. Они инвариантны к анализируемому объекту, способны к самоподобному размножению на различных пространственно-временных уровнях. Согласно [13], эволюционирующие системы имеют фрактальную природу и наличие направленного не стихийного отбора и самосогласованную эволюцию. Фрактальные объекты самоподобны, то есть их вид не претерпевает существенных изменений при изменении масштабов их деятельности. Преобразования, создающие такие структуры, – это процессы с обратной связью с большим числом итераций, когда одна и та же операция выполняется снова и снова.

Существует механизм агрегации, описывающий создание фракталов [13, 14]. Согласно механизму агрегации, определенная разновидность фракталов может быть получена в процессе неупорядоченного роста. Например, задан кластер (объект с максимальным числом внутренних связей), растущий следующим образом: с течением времени к нему присоединяется молекула и сразу прилипает к нему. Этот процесс и называется агрегацией. При чем агрегация частиц, происходит в условиях случайного движения.

Приведем один из возможных механизмов решения оптимизационной задачи на основе агрегации фракталов. Он основан на следующих принципах [8, 13]:

- ◆ построение кластеров (массивов, определенным образом связанных между собой исследуемых объектов);
- ◆ факторизации кластеров, то есть уменьшение размерности задачи путем представления кластеров в виде новых объединенных кластеров;
- ◆ агрегация, протекающая в условиях случайного, направленного и комбинированного присоединения элементов к кластерам.

При чем процесс создания кластеров основан на механизме построения минимальных массивов в графе или гиперграфе.

Описание комбинированного поиска. На рис. 1 представлена архитектура комбинированного поиска на основе многоуровневого подхода [5, 7–10, 12, 15, 16].

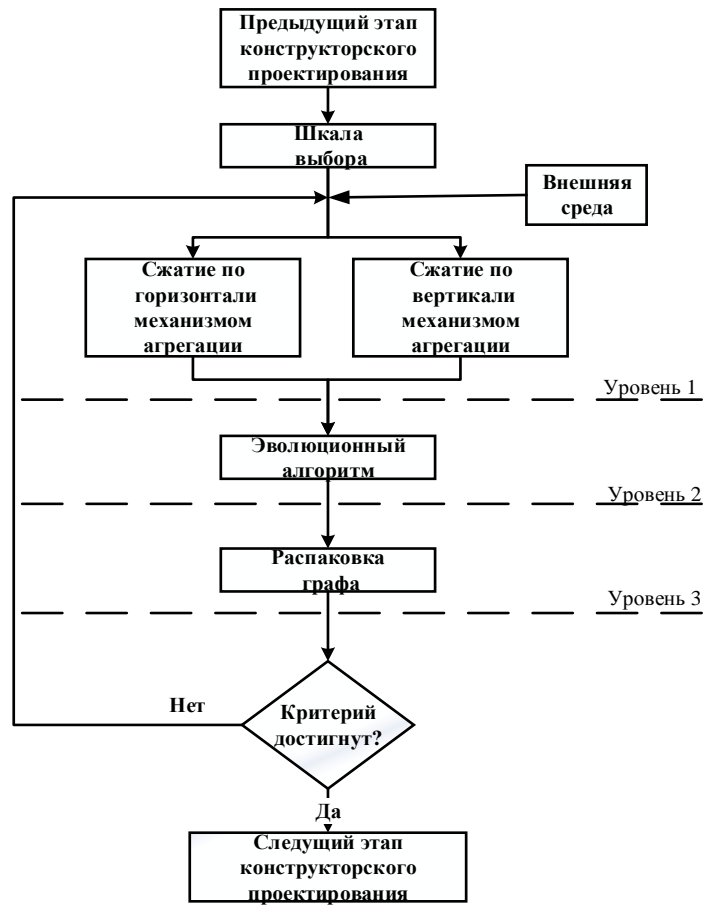


Рис. 1. Архитектура комбинированного поиска

Опишем и покажем на примере работу предложенного комбинированного подхода на основе построения минимальных кластеров и агрегации фракталов.

На рис. 2 приведена коммутационная схема в виде графа $G=(X,U)$, $|X|=9$, расположенного в решетке 3×3 .

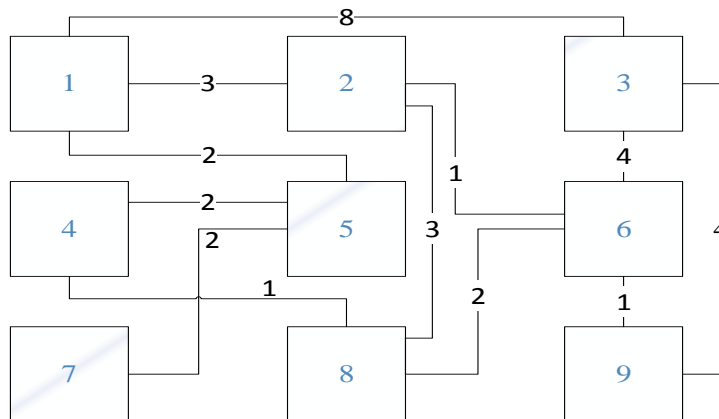


Рис. 2. Условная коммутационная схема СВИС

Здесь ЦФ $L(G)$ составляет 102 условных единицы. Необходимо из заданного хаоса (случайного расположения вершин) получить порядок с $L(G) \rightarrow \min$.

Построим фрактальное множество, т.е. проведем сжатие графа по горизонтали. Для этого каждую строку решетки представим в виде одной вершины нового графа G_1 с $|X_1|=3$ (рис. 3). Получили исходное альтернативное решение $P_1=QWE$ с ЦФ ($L(G)=29$). Затем выполняем перестановку вершин графа на основе генетического алгоритма [8, 17, 18]. На рис. 4 показан результат работы генетического алгоритма. Получено новое альтернативное решение $P_2=WQE$ с ЦФ ($L(G)=24$).

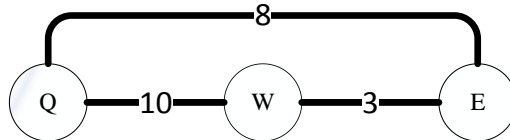


Рис. 3. Исходное альтернативное решение P_1

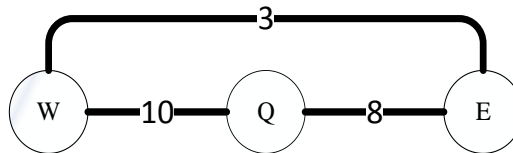


Рис. 4. Преобразование графа по горизонтали

Далее применим механизм агрегации фракталов для распаковки графа. После перехода от фрактального графа G_1 к графу G получим расположение графа G в решетке, показанное на рис. 5. При этом $L(G)$ составляет 104 условных единиц.

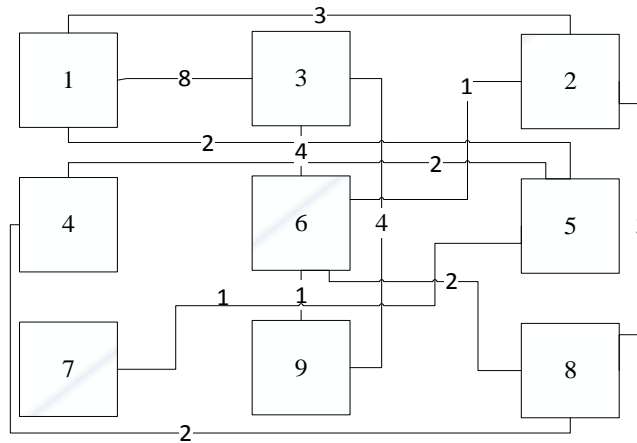


Рис. 5. Распакованный граф G

Согласно архитектуре поиска проверяем, достигнут ли критерий остановки. Критерием остановки является достижение квазиоптимального значения целевой функции. Если значение ЦФ не достигнуто, то строим фрактальное множество, т.е. производим сжатие графа по вертикали. Для этого каждый столбец решетки представляем в виде одной вершины нового графа G_2 с $|X_2|=3$. Затем выполняются аналогичные преобразования для графа G_2 на основе генетического алгоритма (рис. 6).

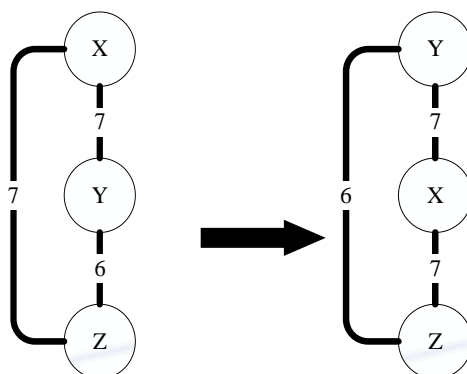


Рис. 6. Преобразование графа

Далее производим распаковку графа G_2 . В результате работы получено окончательное размещение графа G в решетке с $L(G)=\min=96$ (рис. 7).

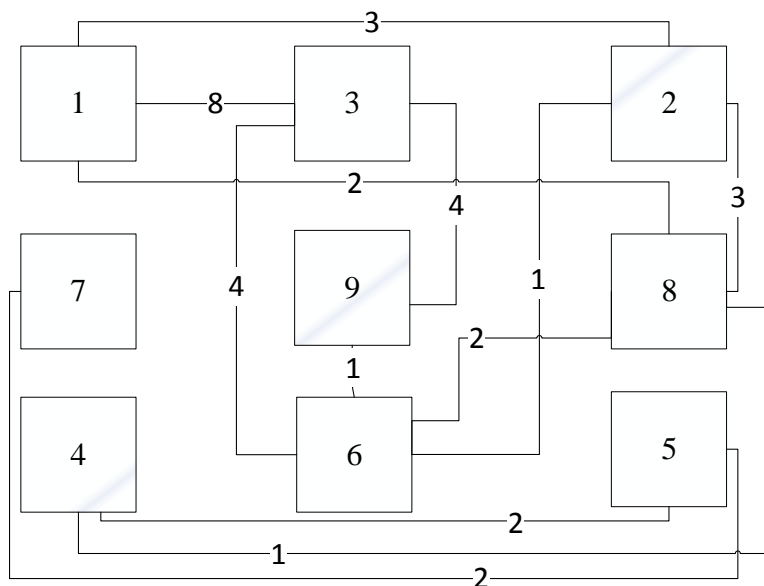


Рис. 7. Окончательное размещение графа G

В итоге было получено квазиоптимальное размещение, так как значение целевой функции уменьшилось. То есть предложенный подход позволил минимизировать длину соединений между элементами.

Вычислительный эксперимент. Разработана программная среда для решения задач размещения фрагментов СБИС. При построении комплекса программ использовались пакеты Borland C++, Builder, Visual C++. Отладка и тестирование проводилось на ЭВМ типа IBM PC с процессором core i7 с ОЗУ-8Гб.

Для определения эффективности разработанного комбинированного подхода (КП) были проведены исследования времени и качества решения для разного набора тестовых примеров (бенчмарок), различающихся количеством элементов в схеме [19, 20]. Результаты проведенных исследований представлены в табл. 1 и на рис. 8.

Таблица 1

Определение эффективности алгоритмов

Схема	Число эл.	Сапо 8.6	Feng Shui 2.0	Dragon 2.23	КП
ibm01	12752	4,97	4,87	4,42	4,78
ibm02	19601	15,23	14,38	13,57	14,05
ibm03	23136	14,06	12,84	12,33	13,96
ibm04	27507	18,13	16,69	15,41	16,58
ibm05	29347	44,73	37,3	36,38	37,96
ibm06	32498	21,96	20,27	20,38	20,52
ibm07	45926	36,06	31,5	29,97	29,82
ibm08	51309	37,89	34,14	32,2	31,8
ibm09	53395	30,28	29,86	28,1	27,46
ibm10	69429	61,25	57,99	57,2	53,04
ibm11	70558	46,45	43,28	40,77	40,66
ibm12	71076	81,55	75,91	71,03	70,17
ibm13	84199	56,47	54,09	50,57	48,37

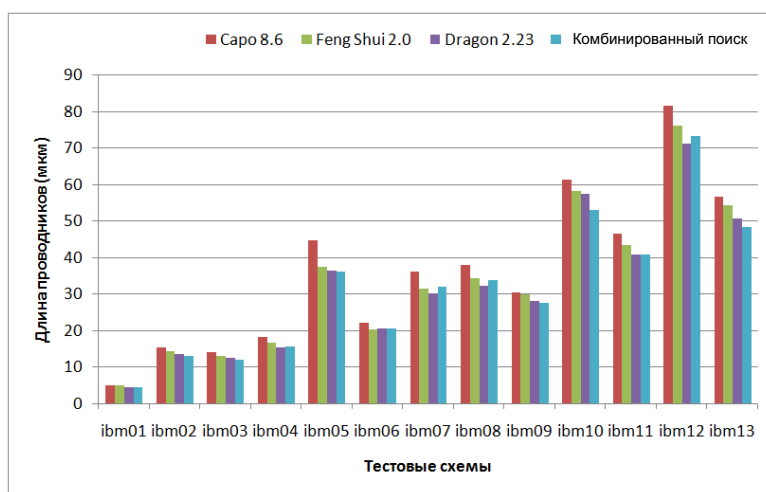


Рис. 8. Гистограмма сравнения длин проводников при размещении тестовых схем *ibm01-ibm13* различными алгоритмами

Качество размещений, полученных, на основе комбинированного поиска, в среднем на 6,38 % превосходит результаты размещения, полученные с использованием известных алгоритмов Сапо 8.6, Feng Shui 2.0, Dragon 2.23, что говорит об эффективности предложенного подхода.

Проведенные экспериментальные исследования, показали преимущество использования механизма агрегации фракталов для решения задач размещения большой размерности (свыше 50000 элементов), по сравнению с известными методами.

Заключение. Предложен комбинированный подход решения задачи размещения фрагментов СБИС. Построена новая архитектура поиска, основанная на многоуровневом подходе. Такой подход дает возможность распараллеливать процесс оптимизации, получать оптимальные и квазиоптимальные решения в задачах размещения за время, сопоставимое со временем реализации итерационных алгоритмов. Разработан эволюционный алгоритм, позволяющий частично устранить преждевременную сходимость. Разработана программная среда на языке C++. 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. 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.
2. Курейчик В.В., Запорожец Д.Ю. Современные проблемы при размещении элементов СБИС // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 7 (120). – С. 68-73.
3. Sherwani N.A. Algorithms for VLSI Physical Design Automation. Third Edition, Kluwer Academic Publisher, USA, 2013.
4. Alpert C.J., Dinesh P.M., Sachin S.S. Handbook of Algorithms for Physical design Automation, Auerbach Publications Taylor & Francis Group, USA, 2009.
5. Kasprzyk J., Kureichik V.M., Malioukov S.P., Kureichik V.V., Malioukov A.S. General Questions of automated design and engineering. Studies in Computational Intelligence, 212. – 2009. – P. 1-22.
6. Lim S.K. Practical Problems in VLSI Physical Design Automation, Springer Science + Business Media B.V, Germany, 2008.
7. Курейчик В.В., Курейчик В.М., Родзин С.И. Теория эволюционных вычислений. – М.: Физмалит, 2012. – 260 с.
8. Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Генетические алгоритмы. – М.: Физматлит, 2010. – 368 с.
9. Курейчик В.В., Курейчик Вл.Вл. Бионспирированный поиск при проектировании и управлении // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 11 (136). – С. 178-183.
10. Курейчик В.В., Бова В.В., Курейчик Вл.Вл. Комбинированный поиск при проектировании // Образовательные ресурсы и технологии. – 2014. – № 2 (5). – С. 90-94.
11. Курейчик В.В., Курейчик В.М. Генетический алгоритм размещения графа // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2000. – № 5. – С. 67-78.
12. Курейчик В.В., Курейчик Вл.Вл. Интегрированный алгоритм размещения фрагментов СБИС // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – № 7 (156). – С. 84-93.
13. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. – М.: Институт компьютерных исследований, 2002. – 666 с.
14. Kureichik V.V., Kureichik V.M. Fractal algorithm for graph partitioning // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. – 2002. – № 4. – С. 65-75.
15. Курейчик В.В., Курейчик Вл.Вл. Архитектура гибридного поиска при проектировании // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 7 (132). – С. 22-27.
16. 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.
17. Kureichik V.V., Kureichik V.M. Genetic search-based control // J. Automation and Remote Control. – № 62 (10). – P. 1698-1710.
18. Zaporozhets D.Y., Zaruba D.V., Kureichik V.V. Representation of solutions in genetic VLSI placement algorithms // Design & Test Symposium (EWDTS), 2014 East-West. – 2014. – P. 1-4.

19. Kacprzyk J., Kureichik V.M., Malioukov S.P., Kureichik V.V., Malioukov A.S. Experimental investigation of algorithms developed // *Studies in Computational Intelligence*. – 2009. – № 212. – P. 211-223+227-236.
20. IBM-PLACE 2.0 benchmark suits <http://er.cs.ucla.edu/benchmarks/ibm-place2/bookshelf/ibm-place2-all-bookshelf-nopad.tar.gz>.

REFERENCES

1. Bushin S.A., Kureychik V.V. Razmeshchenie uzlov i blokov radioelektronnoy i elektronno-vychislitel'noy tekhniki na osnove bionicheskikh metodov [Placement of electronic components and units and computer equipment on the basis of bionic methods], *Programmnyye produkty i sistemy* [Software Products and Systems], 2010, No. 1, pp. 12-14.
2. 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.
3. Sherwani N.A. Algorithms for VLSI Physical Design Automation. Third Edition, Kluwer Academic Publisher, USA, 2013.
4. Alpert C.J., Dinesh P.M., Sachin S.S. Handbook of Algorithms for Physical design Automation, Auerbach Publications Taylor & Francis Group, USA, 2009.
5. Kacprzyk J., Kureichik V.M., Malioukov S.P., Kureichik V.V., Malioukov A.S. General Questions of automated design and engineering, *Studies in Computational Intelligence*, 212, 2009, pp. 1-22.
6. Lim S.K. Practical Problems in VLSI Physical Design Automation, Springer Science + Business Media B.V, Germany, 2008.
7. Kureychik V.V., Kureychik V.M., Rodzin S.I. Teoriya evolyutsionnykh vychisleniy [The theory of evolutionary computation]. Moscow: Fizmatlit, 2012, 260 p.
8. Gladkov L.A., Kureychik V.V., Kureychik V.M. Geneticheskie algoritmy [Genetic algorithms]. Moscow: Fizmatlit, 2010, 368 p.
9. 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.
10. Kureychik V.V., Bova V.V., Kureychik V.V. Kombinirovannyy poisk pri proektirovanii [Combined search in the design], *Obrazovatel'nye resursy i tekhnologii* [Educational Technologies], 2014, No. 2 (5), pp. 90-94.
11. Kureychik V.V., Kureychik V.M. Geneticheskiy algoritm razmeshcheniya grafa [Genetic placement algorithm graph], *Izvestiya RAN. Teoriya i sistemy upravleniya* [Izvestiya RAN. Teoriya i sistemy upravleniya], 2000, No. 5, pp. 67-78.
12. Kureychik V.V., Kureychik V.V. Integrirovannyy algoritm razmeshcheniya fragmentov CBIS [Integrated VLSI fragment placement algorithm], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2014, No. 7 (156), pp. 84-93.
13. Mandel'brot B. Fraktal'naya geometriya prirody [The fractal geometry of nature]. Moscow: Institut komp'yuternykh issledovaniy, 2002, 666 p.
14. Kureichik V.V., Kureichik V.M. Fractal algorithm for graph partitioning, *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Teoriya i sistemy upravleniya* [Izvestiya RAS. Theory and Control Systems], 2002, No. 4, pp. 65-75.
15. 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.
16. Bova V.V., Kureychik V.V. Integrirovannaya podsistema gibridnogo i kombinirovannogo poiska v zadachakh proektirovaniya i upravleniya [Integrated subsystem hybrid and combined search in problems of design and management], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2010, No. 12 (113), pp. 37-42.
17. Kureichik V.V., Kureichik V.M. Genetic search-based control, *J. Automation and Remote Control*, No. 62 (10), pp. 1698-1710.
18. Zaporozhets D.Y., Zaruba D.V., Kureichik V.V. Representation of solutions in genetic VLSI placement algorithms, *Design & Test Symposium (EWDTS), 2014 East-West*, 2014, pp. 1-4.

19. Kacprzyk J., Kureichik V.M., Malioukov S.P., Kureichik V.V., Malioukov A.S. Experimental investigation of algorithms developed, *Studies in Computational Intelligence*, 2009, No. 212, pp. 211-223+227-236.
20. IBM-PLACE 2.0 benchmark suits. Available at: <http://er.cs.ucla.edu/benchmarks/ibm-place2/bookshelf/ibm-place2-all-bookshelf-nopad.tar.gz>.

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

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

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

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

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

УДК 681.3

Ю.О. Чернышев, Н.Н. Венцов, П.А. Панасенко

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАНТОВ АДАПТИВНОГО АНАЛИЗА РЕШЕНИЙ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ЗАДАЧ*

Проанализированы варианты формирования обобщенной функции принадлежности расплывчатых оценок решений оптимизационных задач. Проблема заключается в наделении адаптивными свойствами процесса формирования функции принадлежности, объединяющей (обобщающей) требования экспертов, сформулированные в разрешающей и запрещающей форме. Под адаптивностью понимается изменение области допустимых решений, описываемой обобщенной функцией принадлежности, в зависимости от жесткости требований предъявляемых к проектируемому изделию. Адаптация достигается за счет применения различных вариантов вычисления операции импликации в соответствии с логиками Райхенбаха, Рейчер-Геинеса и Лукасевича. Показано, что для четкого разделения на допустимые и запрещенные решения необходимо использовать логику Рейчер-Геинеса, а для расплывчатого – Райхенбаха, и Лукасевича. Адаптирующие воздействия, изменяющие области запрещенных/допустимых решений, можно задавать, используя оператор CON. Даны оценки множествам нечеткого уровня 1, 0,85, 0,5, образованным при помощи вычисления импликаций на основе логик Райхенбаха, Рейчер-Геинеса и Лукасевича.

Адаптация; нечеткие системы; множество уровня; импликация; интеллектуальные методы.

Yu.O. Chernyshev, N.N. Ventsov, P.A. Panasenko

STUDY ON OPTIONS FOR ADAPTIVE ANALYSIS OF THE SOLUTIONS OF OPTIMIZATION PROBLEMS

Analyzed options for the development of the generalized membership function fuzzy estimates of solutions to optimization problems. The problem lies in allotment the adaptive properties of the formation process of membership function, combining (generalizing) requirements experts, formulated in permitting and prohibiting the form. Under the adaptability refers to the change in the area of feasible solutions is described by a generalized membership function, depending on the

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 13-01-00343, 15-01-05129).