

4. МакКоннелл Дж. Основы современных алгоритмов. Москва, Техносфера, 2004.
5. Wong D.F., Leong H.W., and Simulated C.L.Lin Annealing for VLSI Design. Boston, MA: Kluwer Academic, 1988.
6. Емельянов В.В., Курейчик В.М., Курейчик В.В. Теория и практика эволюционного моделирования. – М.: Физматлит, 2003.
7. Mazumder P., Rudnick E. Genetic Algorithm For VLSI Design, Layout & Test Automation. India, Pearson Education, 2003.
8. Лебедев Б.К., Лебедев О.Б. Трассировка в канале на основе коллективной адаптации // Труды Международных НТК IEEE AIS'05, CAD 2005. – М.: Физматлит, 2005. – С. 58-63.
9. Лебедев Б.К. Интеллектуальные процедуры синтеза топологии СБИС. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2003.
10. Курейчик В.М., Лебедев Б.К., Лебедев О.Б. Поисковая адаптация: теория и практика. – М.: Физматлит, 2006.
11. Clerc M. Particle Swarm Optimization. ISTE, London, UK, 2006.
12. Poli R. Analysis of the publications on the applications of particle swarm optimisation. Journal of Artificial Evolution and Applications, Article ID 685175, 10 pages, 2008.
13. Dorigo M. and Stützle T. Ant Colony Optimization. MIT Press, Cambridge, MA, 2004.
14. Штовба С.Д. Муравьиные алгоритмы // Exponenta Pro. Математика в приложениях – 2003, №4.

Лебедев Олег Борисович

Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: lbk@tsure.ru.

347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.

Тел.: 8(8634)371-743.

Кафедра систем автоматизированного проектирования; доцент.

Lebedev Oleg Borisovich.

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: lbk@tsure.ru.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: 8(8634)371-743.

Department of Computer Aided Design; associate professor.

УДК 681.3.001.63

И.А. Шкамардин

**ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭВОЛЮЦИОННОЙ
ЭЛЕКТРОНИКИ***

В статье дается обзор состояния эволюционной электроники. Рассматриваются основные направления применения эволюционных методов при проектировании электронных схем. Приводится алгоритм, лежащий в основе эволюционного проектирования радиоэлектронных схем.

Эволюционная электроника; эволюционные алгоритмы; проектирование схем.

* Работа выполнена при поддержке: (грант № 07-01-00174), г/б № 2.1.2.1652.

I.A. Shkamardin

PROBLEMS AND PERSPECTIVES OF EVOLUTION OF EVOLUTIONARY ELECTRONICS

The article provides an overview of the condition of evolutionary electronics. The main areas of application of evolutionary techniques in the design of electronic circuits are presented. The algorithm underlying in basic of evolutionary design of radio-electronic circuits is resulted.

Evolutionary electronics; evolution algorithms; design of circuits.

Введение. При проектировании электронных устройств разработчики сталкиваются одновременно с проблемами поиска топологии и определения параметров схемы, а также с жесткими ограничениями к срокам проектирования. Поэтому традиционные методы проектирования являются малоэффективными, а отсутствие в используемых моделях и алгоритмах возможности изменения системы ограничивает область поиска решения только типовыми схемами. Однако с развитием современных вычислительных систем появилась возможность решать задачи недоступные ранее из-за большого объема расчетов, необходимого для их решения. Наряду с совершенствованием аппаратных средств, развивалось и математическое обеспечение, что привело к появлению новых подходов и методов решения традиционных и инновационных задач.

Обзор состояния эволюционной электроники. Одним из перспективных направлений в этой области являются эволюционные вычисления (ЭВ) и эволюционная электроника (ЭЭ). Эволюционная электроника это область, охватывающая все прикладные задачи, которые используют эволюционные вычисления для разработки электронных систем [1]. Эволюционные вычисления используют в качестве средств поиска специфические алгоритмы, основанные на принципах естественной эволюции. Эти алгоритмы, названные эволюционными алгоритмами (ЭА), применяются к сложным проблемам оптимизации. ЭА производят выборку решений из области поиска, пытаясь найти решение, которое будет максимально удовлетворять определенным техническим требованиям. Ниже приведены две основных концепции, связанных с эволюционными алгоритмами:

- ◆ эволюционные алгоритмы типично производят выборку всех возможных решений (до 10^8), чтобы найти то, которое удовлетворяет техническим требованиям, хотя количество выбранных решений, часто незначительно по сравнению с огромным размером области поиска (до 10^{500});
- ◆ осуществление выборки в эволюционном алгоритме не происходит случайным образом; вместо этого, естественные принципы эволюции, как упомянуто выше, используются, чтобы управлять процессом поиска.

Несмотря на тот факт, что активные исследования в области эволюционной электроники проводятся только в течение нескольких прошедших лет, первые задачи с использованием методов эволюционной электроники появились уже в середине 80-х, когда эволюционные алгоритмы были применены к оптимизации цифровых микросхем, в задачах монтажа элементов и формирования разводки [2]. В начале 90-х, области исследований на основе эволюционных алгоритмов значительно расширились:

- ◆ использование эволюционных алгоритмов не только для того, чтобы оптимизировать топологию цифровых микросхем, но и для достижения технологии проектирования схем в целом, включая разработку топологии схемы с самого начала;

- ◆ разработка нового класса интегральных схем, названных программируемыми логическими интегральными схемами (ПЛИС) – эти устройства могут быть быстро реконфигурированы перепрограммированием, тем самым, имея возможность реализовать огромное разнообразие цифровых схем.

Работа Льюиса и Ролинса [3] была одной из первых, в которой была представлена идея использования эволюционных алгоритмов как инструментальных средств для *структурной разработки* схем. В частности, было представлено понятие структурного синтеза цифровых схем: эволюционный алгоритм использовался, чтобы синтезировать размещение цифровых логических элементов, которые решали определенную проблему, типа функции четности. Эта идея была достаточно оригинальна, поскольку эволюционный алгоритм выполнял полное автоматическое проектирование интегральных микросхем, с «нуля», не требуя экспертных знаний. Это радикально отличалось от предыдущих технологий, где эволюционные алгоритмы использовались только, для того чтобы оптимизировать VLSI-топологии, являющиеся результатом от схем, разработанных экспертом. К тому же, идея использования вычислительного алгоритма, чтобы достигнуть проектирования интегральных микросхем с «нуля», противопоставлялась процедуре, сопровождаемой большинством инструментальных средств САПР для проектирования интегральных микросхем, которые основаны на знаниях эксперта и ограничениях.

Разработка современных перестраиваемых чипов также сыграла важную роль в развитии эволюционной электроники. В частности ПЛИС устройства представляют технологическое усовершенствование по сравнению с ранними перестраиваемыми устройствами, с тех пор как была разработана более высокая плотность логических элементов, интегрированных через СБИС технологию. ПЛИС устройства также обладают более низким временем реконфигурации. Хотя ПЛИС были первоначально задуманы для других целей, их использование как *развиваемых чипов* было предложено в 1993 году Де Гарисом [4]. ПЛИС играют роль развиваемых чипов, когда они автоматически перестраиваются эволюционным алгоритмом. В этом случае, процесс эволюционного поиска выполняется через ПЛИС платформу: эволюционный алгоритм представляет различные примеры схем, построенные на перестраиваемом устройстве, до тех пор, пока оно подчиняется определенному набору спецификаций.

Согласно разновидности электронного проектирования, эволюционная электроника может классифицироваться на три категории: цифровую, *аналоговую* и *смешанную*.

Прикладные задачи эволюционной электроники в цифровом проектировании обычно наиболее перспективны по двум причинам: большая сложность области поиска; и существование эффективных инструментов разработки автоматизированного проектирования, посвященных цифровым схемам. Первая причина происходит от внутренней природы цифрового проектирования. Вторая причина относится к тому факту, что трудно разрабатывать новые инструменты автоматизированного проектирования, которые обеспечат конкурентоспособную рабочую характеристику в сравнении с уже существующими. Уже проведено много работ, в ходе которых схемы, полученные с помощью методов эволюционной электроники, превосходят схемы, разработанные человеком. Несмотря на это, высока потребность в большем количестве научно-исследовательских работ в этой области. Кроме того, есть предположение, что, как только требования к цифровому проектированию станут более сложными, существующие инструменты автоматизированного проектирования, будут не в состоянии получать удовлетворительные решения.

Другая важная причина для развития исследований в области эволюционного проектирования цифровых схем – это важность цифровых технологий в современной электронике.

С другой стороны, аналоговое проектирование схем, намного более поддающееся для применения эволюционных методов. Область поиска, связанная с проблемами аналогового проектирования, более однородная и более адекватна для выполнения эволюционными алгоритмами. В противоположность цифровому проектированию, здесь нет четкого набора правил проектирования или процедур для синтеза аналоговой схемы. Как следствие, приходится полагаться на опыт и даже порой интуицию инженера. Кроме того, инструменты САПР для аналогового проектирования не столь распространены, как для цифровых аппаратных средств. Можно утверждать, что аналоговое проектирование преодолело уменьшающийся уровень значимости по сравнению с цифровым проектированием; однако, современные интегральные микросхемы все более и более нуждаются в аналоговых схемах, главным образом в их взаимодействии с внешним миром, который является аналоговым. К тому же, эволюционные алгоритмы могут получать аналоговые схемы, которые превосходят цифровые аппаратные средства в областях, где цифровая технология была традиционно преобладающей. Потенциал аналогового проектирования намного больше того, чем он эксплуатируется сегодня [5]. Аналоговая схема имеет преимущества по стоимости, размеру и потребляемой мощности (в сравнении с цифровой), и может непосредственно обрабатывать сигналы, которые являются непрерывными во времени и амплитуде. Благодаря эволюционной электронике, можно использовать преимущества аналогового проектирования, в то время, как его неблагоприятные свойства будут значительно уменьшены [5].

Применение эволюционных вычислений позволяет отойти от традиционных методов проектирования схем выполняемых инженером полностью вручную. В эволюционных методах разработки электронных схем необходимо вручную ввести только входные/выходные параметры, а все остальное будет выполнено автоматически. Общий вид ЭА для поиска электронных схем выглядит, как показано на рис. 1.

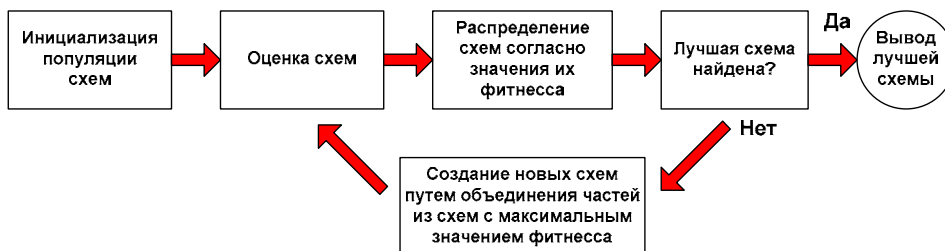


Рис. 1. Общий вид алгоритма эволюции схем

В этом алгоритме, в начале, случайным образом генерируется популяция схем. Для каждой схемы производится оценка ее фитнеса, после чего выбираются схемы с наилучшим значением фитнеса и над ними выполняются определенные операции [6]. Наиболее распространенным видом ЭА – являются генетические алгоритмы (ГА), которые содержат важные генетические операторы, такие как кроссинговер и мутация, позволяющие получать новые электронные схемы.

Первые ГА работали со схемами на уровне блоков, поскольку довольно сложно было представить элементную базу, особенно активные элементы радиоэлектронных схем. Однако с появлением эффективных методов представления схем, проектирование стало происходить на уровне элементов. В последних научных работах, в том числе написанных российскими учеными, были разработаны

современные методы кодирования элементной базы, позволяющие проектировать схемы любых типов. Таким образом, стало возможным проектировать самые разнообразные схемы, при этом схемы, полученные таким образом, превосходят аналогичные, спроектированные вручную.

Последние годы, кроме кодирования типов элементов, их номиналов и связей между ними, стали появляться научные работы, в которых учитываются и паразитные эффекты элементов. Они кодируются отдельными генами в хромосоме, которые теперь также участвуют в эволюционном процессе проектирования схем.

Также принципы эволюционной электроники могут успешно применяться в области нанoeлектроники. Были проведены уже первые эксперименты по использованию ЭА при разработке интегральных схем с нанометровыми технологическими размерами и изделий электроники на основе нанoeлектронной элементной базы.

Заключение. В статье были рассмотрены основные направления применения эволюционной электроники, перспективы ее дальнейшего развития, а также основные проблемы, с которыми сталкиваются разработчики при работе с эволюционными методами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Zebulum R.S., Pacheco M.A., Vellasco M.M.* Evolutionary Electronics: Automatic Design of Electronic Circuits and Systems by Genetic Algorithms. – CRC Press, 2002. – 302 p.
2. *Cohon J.P., Paris W.D.* Genetic Algorithms in Engineering Systems. – The Institute of Electrical Engineers. – London, 1997. – 276 p.
3. *Louis S.J., Rawlins J.E.* Designer genetic algorithms: genetic algorithms in structure design // ICGA-91, in Proc. of the Fourth International Conference on Genetic Algorithms, 1991. – 53 p.
4. *DeGaris H., Albretch R.F., Reeves C.R., and Steele N.C.* Evolvable Hardware: Genetic Programming of a Darwin Machine, in Artificial Neural Nets and Genetic Algorithms. – Springer-Verlag. – New York, 1993. – 84 p.
5. *Stoica A., Keymeulen D., Tawel R., Salazar-Lazaro C., and Li W.* Evolutionary experiments with a fine-grained reconfigurable architecture for analog and digital CMOS circuits // mProc. of the First NASA DoD Workshop on Evolvable Hardware / IEEE Computer Press, 1999. – 76 p.
6. *Jim Torresen.* Evolvable Hardware as a New Computer Architecture // Fourth Int. Conf., ICES'02 / Springer-Verlag, 2002. – P. 173-184.

Шкамардин Иван Александрович

Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: shkamardin@itt.net.ru.

347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.

Тел.: 8(8634)371-651.

Кафедра систем автоматизированного проектирования; ассистент.

Shkamardin Ivan Aleksandrovich

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: shkamardin@itt.net.ru.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: 8(8634)371-651.

Department of Computer Aided Design; assistants.