

Раздел I. Эволюционное моделирование, генетические и бионические алгоритмы

УДК 681.3

В.В. Курейчик, А.В. Комар

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СИНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ БИОНИЧЕСКИМ ПОИСКОМ В ЗАДАЧАХ РАЗМЕЩЕНИЯ

Рассмотрена одна из важнейших проблем автоматизации конструкторского проектирования – задача размещения элементов СБИС. В работе изложены основные идеи и принципы нового подхода к проектированию синергетических систем управления бионическим поиском. Предложена модифицированная архитектура бионического поиска и структура управления им на основе подсистемы эволюционной адаптации. Проведенные комплексные исследования показывают, что применение подобных систем при решении задач автоматизации конструкторского проектирования позволяет быстрее находить оптимальные и квазиоптимальные решения за полиномиальное время.

Размещение; бионический поиск; адаптация; управление; самоорганизация.

V.V. Kureichik, A.V. Komar

FEATURES OF CONSTRUCTION OF SYNERGETIC CONTROL SYSTEMS BIONIC SEARCH IN THE PLACEMENT*

The article describes one of the major problems of computer-aided design – a problem of placement elements. In this work the main ideas and principles of synergistic management of evolutionary search in the placement are presented. The new structure of bionic search and system of management bionic search are proposed. The studies developed in this work shows that the using such systems in solving problems of computer-aided design allows to find the optimal solutions for polynomial time.

Placement; bionic search; adaptation; management; self-organization.

Введение. При проектировании СБИС одно из центральных мест занимают задачи автоматизации конструкторского проектирования. Причиной этого является естественное стремление определить наиболее простой вариант построения системы при соблюдении заданных требований к качеству ее функционирования. Целью таких задач является выбор допустимого или оптимального решения из множества альтернатив для достижения поставленной цели. К таким задачам относится задача размещения.

Задача размещения является одним из наиболее важных шагов в процессе проектирования СБИС, поскольку качество полученного решения в значительной степени влияет на выполнение последующей трассировки соединений, которые, в свою очередь, сильно влияют на производительность схемы. Она может быть сформулирована следующим образом: дано множество элементов и множество связей между ними, а также задано коммутационное поле, на котором должны размещаться элементы. Надо разместить элементы на коммутационном поле с оп-

* Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект № 10-01-00115).

тимизацией выбранных критериев качества. Задача размещения, относится к классу NP-полных задач. Для задач этого класса оптимальное решение может быть найдено только полным перебором всех возможных решений, что на данном этапе развития вычислительной техники невозможно.

Применение традиционных алгоритмов поиска решения задачи размещения встречается с рядом трудностей, к которым относятся:

- ◆ резкий рост вычислительных затрат и времени поиска при увеличении числа варьируемых параметров;
- ◆ локальный характер алгоритмов поиска, связанный с необходимостью вычисления производных целевой функции на каждом шаге поиска;
- ◆ возможность «зависания» алгоритма поиска в окрестности одного из локальных экстремумов; низкая эффективность поиска при наличии «овражных» ситуаций; низкая помехозащищенность алгоритмов [1–4].

Этих недостатков в значительной степени лишены генетические алгоритмы, методы эволюционного моделирования и бионического поиска. Эти методы оперируют с популяцией оценок потенциальных решений (индивидуумов), используя принцип «Выживает наиболее приспособленный», для того чтобы генерировать все более лучшие приближения к оптимальному решению. Процесс поиска решений представляется как динамическая процедура, в которой последовательно, на каждом шаге, в соответствии со сложившейся ситуацией образуется новое множество решений, получаемое с помощью отбора индивидуумов [3].

Решения, содержащиеся в развивающейся популяции, бывают очень близки к оптимальным, но механизмы бионического поиска, реализующие случайные изменения, часто не находят ту цепочку изменений, которые приводят к оптимальному решению. Для этого нужны «осмысленные» изменения, направленные в сторону глобального оптимума. Такие свойства присущи адаптивным поисковым процедурам на основе самообучения и самоорганизации [1,5]. В связи с этим для преодоления предварительной сходимости алгоритмов обоснованным является подход, основанный на сочетании бионического поиска с адаптацией на основе самообучения и самоорганизации [5].

Проблемы управления такого рода системами являются весьма актуальными, чрезвычайно сложными и практически недоступными для существующей теории управления. Эта теория позволила весьма успешно освоить методы централизованного внешнего воздействия на различные объекты, однако, в последнее время возникла потребность пересмотра силовых подходов в задачах управления и перехода на идеи самоорганизации и синергетики. Хотя в настоящее время теория управления в результате интенсивного развития и превратилась в самостоятельную научную дисциплину, однако прикладная наука об управлении не получила необходимого развития и отстает от потребностей практики. И это, прежде всего, связано с тем обстоятельством, что в существующей теории управления математический формализм подавляет физическое состояние задачи управления. Такой вывод можно сделать, анализируя тематику и содержание публикаций по теории систем управления последних лет, которые зачастую представляют собой абстрактные математические упражнения, малосвязанные с задачами управления реальными объектами и системами. В этой связи возникает фундаментальная проблема поиска общих объективных законов единства процессов самоорганизации и управления – обратных связей, которая сводится к максимальному учету естественных свойств объекта соответствующей природы.

Особенности бионического поиска оптимальных решений в задачах автоматизированного проектирования. Бионический поиск – это специально организованный процесс, позволяющий определить необходимое адаптирующее

воздействие, не располагая моделью объекта. В процессе поиска определяется влияние адаптирующего воздействия на объект, и эта информация используется для повышения его эффективности. Сам по себе процесс бионического поиска имеет последовательный многоэтапный характер, при этом на каждом этапе принимаются меры по повышению эффективности объекта.

Для характеристики бионических методов поиска оптимальных решений используются понятия самообучения, накопления и адаптации.

Самообучение – это управляемый процесс изменения вероятностных свойств поиска. Процесс самообучения может состоять в перестройке вероятностных характеристик случайного вектора для увеличения числа эффективных итераций и уменьшения неэффективных. Если избранное направление не приводит к успеху, алгоритм с самообучением ищет другое. На начальных итерациях поиск эффективного направления начинается в равновероятной зоне, а затем с набором информации о характере функции полезности последовательно приобретает преимущество в выборе наилучшего направления.

Накопление – это выборка информации на основе пробных шагов о поведении значения функции полезности вблизи рассматриваемой точки для выбора направления поиска. Основной способ формирования такой выборки – метод наилучшей пробы. Из точки x делается q случайных независимых попыток с заданным шагом. Для каждой пробы вычисляется значение функции полезности и шаг совершается в направлении той пробы, что привела к наилучшему значению функции полезности. Очевидно, что при $q \rightarrow \infty$ мы найдем оптимальное значение функции полезности. Важным отличием этого метода является возможность работы при $q < n$, где n – число переменных оптимизируемой функции.

Накапливаемая в ходе генетического поиска база знаний может быть использована для последующего изучения пространства поиска решения, для объяснения, как было получено решение в результате эволюции, объяснения механизмов нахождения решения и настройки алгоритма для последующего поиска. Возможность проследить траекторию генетического поиска предоставляет пользователю информацию о перспективных районах пространства поиска.

Однако при таком накоплении информации возникает проблема хранения множества проведенных экспериментов, поэтому в систему бионического поиска необходимо включить механизмы обобщения. При этом в базу данных должен включаться только случай с существенными отличиями. К недостаткам этого подхода следует отнести возможное снижение информативности системы, однако при использовании итеративной процедуры накопления информации эффективные решения будут включены в базу данных на последующих этапах.

Адаптация в технических системах – это способность системы изменять свое состояние и поведение (параметры, структуру, алгоритм, функционирование) в зависимости от условий внешней среды путем накопления и использования информации о ней.

Архитектура бионического поиска. Рассмотрим модифицированную архитектуру бионического поиска, представленную на рис. 1 [2,3].

Сначала на основе конструкторско-технологических ограничений сокращается область поиска допустимых решений. Далее анализируя эту область, случайным, направленным или комбинированным образом создаётся начальная популяция. На основе постановки задачи размещения определяется функция полезности.

Далее на основе функции полезности производится анализ популяции альтернативных решений и селекция (отбор) хромосом для дальнейшего поиска оптимальных решений.

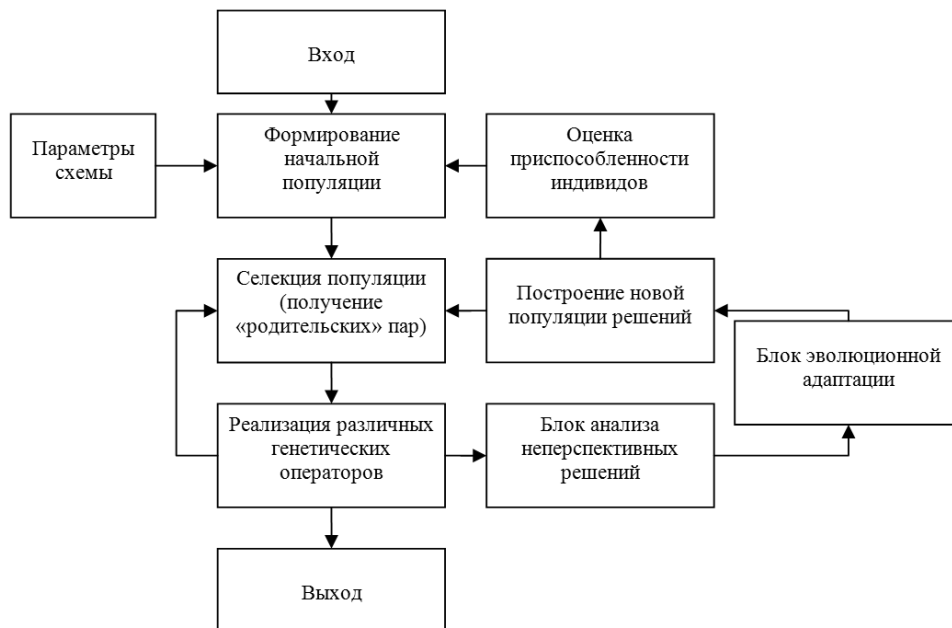


Рис. 1. Модифицированная архитектура бионического поиска

Блок анализа неперспективных решений собирает и анализирует решения, получаемые в процессе выполнения генетического алгоритма. Каждому решению (индивиду) в результате проведенного анализа присваивается определённый ранг (перспективное, неперспективное, тривиальное и др.). При этом принимаются во внимание задаваемые на входе алгоритма характеристики схемы, а также обусловленные этим ограничения области поиска. Проводимое в рассматриваемом блоке ранжирование текущей популяции альтернативных решений позволяет повысить эффективность генетического поиска за счет большей структурированности множества альтернативных решений и дает возможность динамического регулирования направления поиска. Таким образом, появляется дополнительный инструмент для самоадаптации и настройки параметров генетического алгоритма. Блок эволюционной адаптации предназначен для выбора и реализации различных стратегий и механизмов адаптации. В этом блоке на основе обратных связей производится выбор используемой модели эволюции. Еще одно предназначение данного блока состоит в настройке и изменении порядка использования и применения различных генетических операторов и схем поиска.

После репродукции размер популяции остается постоянным. Для этого производится его уменьшения с помощью применения оператора редукции. Далее вся процедура повторяется на новом шаге эволюции.

Процесс заканчивается, когда достигнута заданная точность, т.е. за несколько генераций сумма изменений значений лучших решений меньше или равна заданному значению. Процесс может также остановиться после заданного количества генераций алгоритма или после получения оптимального решения.

Синергетические системы управления бионическим поиском (БП). Основной задачей управления является организованное воздействие на объект управления (ОУ), в качестве которого может выступать та или иная техническая система, которое переводит объект управления в требуемое состояние [6].

Для решения задачи управления состоянием БП, используется подсистема эволюционной адаптации, в функции которой входит формирование управляющих воздействий u в соответствии с заданной программой, определяемой начальными значениями g и текущими значениями компонент вектора выходов y , вектора состояния БП x и вектора внешних возмущений f (рис. 2).

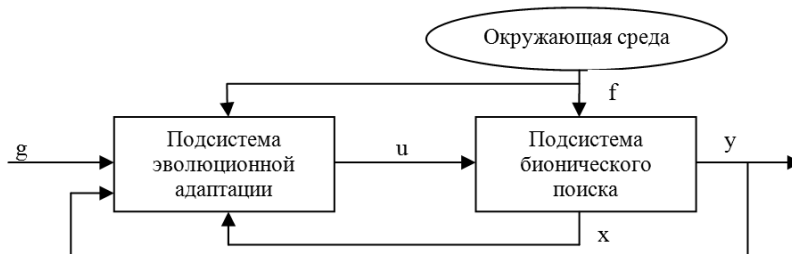


Рис. 2. Общая структура системы управления БП

Задача адаптации состоит в том, чтобы поддерживать в объекте ту структуру, которая обеспечивает максимальную эффективность объекта при соблюдении заданных ограничений, и иметь возможность переходить на другую альтернативную структуру, если в результате изменения условий она окажется лучше [6].

Адаптация является частным случаем управления со стабильными целями. Основные цели адаптации связаны с экстремальными требованиями, предъявляемыми к объекту адаптации в виде максимизации эффективности его функционирования.

Как правило, под адаптивной понимают систему, которая работает при наличии априорной неопределенности и изменяющихся внешних условий, а получаемую в процессе работы информацию об этих условиях использует для повышения эффективности работы системы. Главная особенность адаптивной системы состоит в использовании механизма обратной связи, который следит за процессом выполнения алгоритма и динамически изменяет параметры поиска, согласно оценкам качества получаемых решений.

В зависимости от наличия или отсутствия модели объекта адаптации все виды адаптации делятся на два класса: адаптация с моделью и поисковую адаптацию (без модели).

Если число возможных ситуаций (классов задач), которые могут образоваться в процессе адаптации, невелико, то для этих ситуаций можно заранее решить задачу адаптации и заготовить в памяти информацию о необходимых адаптирующих воздействиях в виде таблицы оптимальных решений. В этом случае процесс адаптации сводится к оценке ситуации, выбору из таблицы решений информации об оптимальном адаптирующем воздействии и реализации этого воздействия на САПР. Такого рода адаптацию естественно назвать *априорной*, так как здесь заготавливаются заранее в виде таблицы: ситуация X – необходимое оптимальное адаптирующее воздействие U . Если же заранее нельзя предвидеть, в какой ситуации окажется САПР, синтез адаптирующего воздействия следует производить после анализа входного задания X . Такого рода адаптацию называют *апостериорной*.

Часто распространен случай, когда объект изменяется во времени непредвиденным образом и адекватной ему модели нет в нужный момент. Это обстоятельство заставляет расширить функции адаптирующего устройства *идентификацией*, т.е. процессом синтеза адекватной модели объекта. Идентификатором создается модель, адекватная объекту, которая и используется для синтеза адаптирующего воздействия. Такого рода адаптацию называют *адаптацией с идентификатором* или с *самонастраивающейся моделью*.

Объект адаптации часто настолько сложен, что невозможно построить его модель. В этом случае обращаются к *поисковой адаптации*. Этот вид адаптации отличается наличием поиска – специально организованного процесса, позволяющего определить необходимое адаптирующее воздействие, не располагая моделью объекта.

В процессе поиска определяется влияние адаптирующего воздействия на объект, и эта информация используется для повышения его эффективности. Сам по себе процесс поисковой адаптации имеет последовательный многоэтапный характер, при этом на каждом этапе принимаются меры по повышению эффективности объекта. Трудности адаптации с моделью сводятся к синтезу модели объекта. Сама адаптация сводится к решению оптимизационной задачи выбора такого адаптирующего воздействия, которое бы удовлетворяло целям адаптации.

При поисковой адаптации необходимо одновременно и экспериментировать с объектом, и адаптировать его. Это значительно труднее, поэтому необходима разработка специальных алгоритмов поисковой адаптации.

Адаптирующее воздействие имеет различный характер, при этом можно изменять параметры объекта адаптации, или его структуру. В первом случае имеем *параметрическую* адаптацию, а во втором случае – *структурную*. В зависимости от типа значений изменяемых параметров, параметрическая адаптация делится на непрерывную, дискретную и бинарную. Очевидно, что структурная адаптация является более глубокой и радикальной, так как при этом изменения затрагивают структуру адаптируемого объекта. Структурная адаптация обычно сопровождается параметрической, так как каждая структура имеет свои параметры, которые также нуждаются в адаптации.

Структурная адаптация возможна, во-первых, путем незначительных ее изменений, имеющих эволюционный характер – *эволюционная адаптация*, и, во-вторых, путем выбора одной из альтернативных структур объекта – *альтернативная адаптация*.

В процессе эволюционной адаптации изменениям может подвергаться непосредственно структура объекта либо коды структуры. Второй способ используется при генетической адаптации, где закодированная информация о структуре представляется в виде хромосом, которые подвергаются эволюционным изменениям.

В процессе альтернативной адаптации может участвовать либо один объект, либо коллектив объектов, взаимодействующих друг с другом. При коллективной адаптации состояние объекта в среде определяется как собственной структурой, так и структурами взаимодействующих с ним членов коллектива.

Если объект, прежде чем принять решение о своих действиях, прогнозирует и учитывает возможные действия других членов коллектива, то имеет место адаптация с рефлексией, в противном случае – без рефлексии.

Объект обычно имеет сложную, иерархическую структуру. В случае иерархической структуры объекта на одном уровне могут быть изменения, связанные с выбором альтернативных структур, на другом они приводят к эволюционным изменениям. В этом случае имеем комбинированную многоуровневую адаптацию.

Заключение. В данной статье были определены основные особенности бионического поиска оптимальных решений в задачах автоматизированного проектирования. Также были описаны синергетические системы управления бионическим поиском. Рассмотрены фундаментальные принципы организации процесса альтернативной поисковой адаптации, моделируемой синергетической системой управления, использующей в качестве методов вероятностные автоматы адаптации с механизмами коллективного функционирования. Проведенные исследования показывают, что применение подобных систем позволяет находить оптимальные и квазиоптимальные решения за полиномиальное время, за счет параллельной обработки множества альтернативных решений, концентрируя поиск на наиболее перспективных из них.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Курейчик В.М., Лебедев Б.К., Лебедев О.Б. Методы поисковой адаптации в задачах автоматизированного проектирования СБИС – М.: Физматлит, 2006. – 360 с.
2. Курейчик В.М. Бионспирированный поиск с использованием сценарного подхода // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 7 (108). – С. 7-13.
3. Курейчик В.В., Курейчик В.М., Родзин С.И. Концепция эволюционных вычислений, инспирированных природными системами // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 4 (93). – С. 16-25.
4. 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 (89). – С 12-15.
5. Синергетика: процессы самоорганизации и управления: Учебное пособие / Под общей редакцией А.А. Колесникова. – Таганрог: Изд-во ТРТУ. 2004. – 360 с.
6. Васильев В.И., Ильясов В.Г. Интеллектуальные системы управления. Теория и практика: Учебное пособие. – М.: Радиотехника, 2009. – 392 с.

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

Курейчик Владимир Викторович

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

E-mail: vkur@tsure.ru.

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

Тел.: 88634383451.

Кафедра систем автоматизированного проектирования; заведующий кафедрой; д.т.н.; профессор.

Комар Анна Владимировна

E-mail: komarav@inbox.ru.

Кафедра систем автоматизированного проектирования; аспирантка.

Kureichik Vladimir Viktorovich

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

E-mail: vkur@tsure.ru.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: +78634383451.

The Department of Computer Aided Design; Head of the Department; Dr. of Eng. Sc.; Professor.

Komar Ann Vladimirovna

E-mail: komarav@inbox.ru.

The Department of Computer Aided Design; Postgraduate Student.

УДК 681.31

Ю.О. Чернышев, А.Ю. Полуян

**ПРИМЕНЕНИЕ БИОНИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ
ЗАДАЧИ О НАЗНАЧЕНИИ**

Рассматривается вопрос о сведении задачи о назначении к задаче об экстремальном пути на графе. Приводится методика сведения рассматриваемой задачи к задаче о кратчайшем пути. Основным ресурсом результативности и трудоемкости бионического поиска является распараллеливание, в работе представлена модифицированная схема параллельного бионического поиска на основе модели «островов». Предлагаемый алгоритм, дает возможность корректировки популяции в процессе его работы. Представлены результаты модели-