

Лисяк Владимир Васильевич – Южный федеральный университет; e-mail: v-lisyak@yandex.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634360524; кафедра систем автоматизированного проектирования; доцент.

Лисяк Наталия Константиновна – e-mail: NKL2004@mail.ru; кафедра систем автоматизированного проектирования; доцент.

Малуколов Дмитрий Алексеевич – CBOSS; e-mail: Ya280158358@yandex.ru; 347900, г. Таганрог, ул. Октябрьская, 19; системный архитектор.

Lisyak Vladimir Vasilievich – Southern Federal University; e-mail: v-lisyak@yandex.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634360524; the department of computer aided design; associate professor.

Lisyak Natalia Konstantinovna – e-mail: NKL2004@mail.ru; the department of computer aided design; associate professor.

Malukolov Dmitriy Alekseevich – CBOSS; e-mail: Ya280158358@yandex.ru; 19, Oktyabrskaya street, Taganrog, 347900, Russia; senior software engineer.

УДК 623.2.045.772.12

С.Н. Щеглов

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ, ИНСПИРИРОВАННЫХ ПРИРОДНЫМИ СИСТЕМАМИ, ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ В ЗАДАЧАХ САПР*

Представлен процесс разработки алгоритмов, инспирированных природными системами, для эффективного принятия решения в задачах САПР. В последнее время началось исследование возможностей применения и разработка алгоритмов, инспирированных природными системами, для эффективного принятия решения в задачах САПР. При этом постоянно возникает конфликт между сложностью САПР и требованиями принятия эффективных решений в реальном масштабе времени. Данные проблемы не могут быть полностью решены распараллеливанием процесса принятия решений, увеличением числа операторов, пользователей и ЛПП. Одним из возможных подходов к решению этой проблемы является использование новых технологий на стыке информатики, бионики и автоматизации проектирования. В этой связи разработка новых принципов и подходов принятия эффективных решений в задачах проектирования и управления имеет важное экономическое значение и является, в настоящее время, актуальной и важной. Цель исследования – оценка возможности применения интегрированных методов, инспирированных природными системами, для решения задач конструкторского проектирования САПР на примере использования алгоритма поведения стаи серых волков в живой природе. Приведена постановка задачи размещения элементов схем ЭВА на множестве заданных позиций дискретного рабочего поля. Представлена модифицированная технология разработки инспирированных природой алгоритмов. Показана упрощенная схема интегрированного поиска для решения задачи размещения элементов схем электронно-вычислительной аппаратуры. Приведены требования, предъявляемые к построению алгоритмов проектирования, на основе инспирированных природой методов. Показаны основные шаги работы алгоритма поведения стаи серых волков применительно к задаче размещения. Приведены сравнительные результаты вычислительных экспериментов.

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

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 15-07-06415).

S.N. Shcheglov

DEVELOPMENT OF ALGORITHMS INSPIRED BY NATURAL SYSTEMS, FOR EFFECTIVE DECISION-MAKING TASKS CAD

The paper presents the process of developing algorithms inspired by natural systems, for effective decision-making in problems of CAD. Recently started research of possibilities of application and development of algorithms inspired by natural systems, for effective decision-making in problems of CAD. Constantly there is a conflict between the complexity of CAD and the requirements of making effective decisions in real time. These problems cannot be completely solved by parallelization of the decision-making process, increase in the number of operators, users and decision makers. One possible approach to solving this problem is the use of new technologies at the intersection of computer science, bionics and computer aided design. In this regard, the development of new principles and approaches for making effective decisions in the design and control has important economic and social significance and is currently relevant and important. The purpose of the study is to assess the possibility of using integrated methods, inspired by natural systems, for solving problems of engineering design CAD on the example of use of algorithm of behavior of the pack of grey wolves in nature. Given the formulation of the problem of placing circuit elements of EVA on the set of the set of discrete positions of the working field. Presents a modified technology development of nature inspired algorithms. Shows a simplified diagram of an integrated search for solving a location of the circuit elements of computer and electronic hardware. Given the requirements for the construction of algorithms design, based on nature inspired techniques. Shows the main steps of the algorithm behavior of the pack of grey wolves in the context of accommodation. The comparative results of computational experiments.

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

Введение. В настоящее время в процессе разработки современных интеллектуальных информационных систем особое внимание уделяется использованию новых гибридных технологий, позволяющих эффективно работать с нечеткой или неполной входной информацией в процессе выработки и принятия решений применительно к различным задачам оптимизации и управления. Это особенно актуально в высокотехнологичных областях, например, связанных с внедрением биоинспирированных, информационных, ядерных и нанотехнологий, новых систем автоматизации проектирования и управления. В связи с этим широкое применение получили стохастические поисковые алгоритмы оптимизации, которые в разных публикациях называют поведенческими, интеллектуальными, метаэвристическими, инспирируемые (вдохновленные) природой, роевыми, многоагентными, популяционными и т.д. [1–3]. В данной работе показан интегрированный подход, основанный на применении ИП-алгоритмов, для решения задач конструкторского проектирования САПР. В качестве примера представлен алгоритм решения задачи размещения при проектировании СБИС, на основе поведения стаи серых волков.

Цель исследования. Применение методов моделирования эволюции в системах проектирования и управления позволяет закреплять эффективные решения, полученные на предварительных этапах и использовать их в последующих итерациях. Вся природа эволюции устроена так, что в ней действуют принципы оптимизации, экономии и ускорения. Эволюция невозможна без смены одного устойчивого состояния системы другим, без конкуренции, без конфликтов. В этом случае трудоемкость получения приемлемых решений резко возрастает, возникает проблема «проклятия размерности», и использовать NP-полные, NP-трудные и алгоритмы с экспоненциальной временной сложностью становится невозможным из-за необходимости обработки огромных массивов информации. Тогда становится необходимой интеграция биоинспирированных и поисковых методов с целью модернизации СППР в автоматизированном проектировании. Одним из таких подходов является использование методов моделирования эволюции, применение био-

инспирированных, бионических, квантовых и генетических алгоритмов, эволюционных стратегий, адаптации и взаимодействия с внешней средой. Адаптация позволяет накапливать и использовать информацию, создавать базы знаний и хранилища данных, осуществлять поиск и извлечение знаний при первоначальной неопределенности и изменяющихся внешних условиях.

В последнее время началось исследование возможностей применения и разработка алгоритмов, инспирированных природными системами, для эффективного принятия решения в задачах САПР. При этом постоянно возникает конфликт между сложностью САПР и требованиями принятия эффективных решений в реальном масштабе времени. Данные проблемы не могут быть полностью решены распараллеливанием процесса принятия решений, увеличением числа операторов, пользователей и ЛПП. Одним из возможных подходов к решению этой проблемы является использование новых технологий на стыке информатики, бионики и автоматизации проектирования. По мнению автора, одна из таких технологий может базироваться на идеях моделирования эволюции и методах, инспирированных природными системами [1–9].

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

Цель исследования – оценка возможности применения интегрированных методов, инспирированных природными системами, для решения задач конструкторского проектирования САПР на примере использования алгоритма поведения стаи серых волков в живой природе.

1. Постановка задачи. Пусть дано множество конструктивных элементов (блоков), связанных между собой в соответствии с принципиальной схемой узла. Требуется разместить элементы на некотором плоском коммутационном поле (КП) так, чтобы выполнялись все ограничения на взаимное расположение элементов, а некоторый функционал достигал экстремального значения. Структура задачи размещения элементов задается посредством ограничений пространства размещения (габариты кристалла, конкретного корпуса или монтажной платы), характеристик элементов размещения, а также множеством цепей, соединяющих данные элементы. Главные метрические критерии задачи размещения: суммарная длина межсоединений и площадь области размещенных элементов и межсоединений, длина задержки сигналов, энергосбережение, а также их производные [2–5]. Основной целью решения задачи размещения следует считать создание наилучших условий для последующей трассировки.

Представление устройства в виде совокупности блоков разного уровня определяет формальную структурную модель, в которой каждый блок содержит блоки нижних уровней. Такой иерархический подход позволяет снизить временную сложность задач автоматизированного проектирования, разбивая её на подзадачи меньшей размерности. Таким образом, иерархическое деление позволяет организовать описание и хранение данных, при котором конструкторско-технологические ограничения не нарушаются [6–9].

При построении целевой функции (ЦФ) размещения будем использовать единый функционал на основе аддитивных и мультипликативных критериев.

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 [1, 2, 7].

На прямоугольную конструкцию накладывается декартова система координат с осями s и t , определяющая граф G_r , представляющий собой координатную решетку.

Задача размещения сводится G_r к отображению заданного графа-модели $G=(X,U)$ схемы в решетку таким образом, чтобы множество вершин $X=\{x_i\}$, $i=1..n$, графа G_r размещалось в узлах решетки, число которых конечно, а также соблюдался интегрированный критерий $Compl(G)$, представляющий собой интегрированную ЦФ [1, 2, 7, 9]:

$$\begin{cases} Compl(G) = Compl_Kr(G), & \text{если } N_Kr > 0 \text{ и } N_GA = 0; \\ Compl(G) = L_GA(G), & \text{если } N_Kr = 0 \text{ и } N_GA > 0; \\ Compl(G) = \alpha L_GA(G) + \beta Compl_Kr(G), & \text{если } N_Kr > 0 \text{ и } N_GA > 0, \end{cases}$$

где $L_Kr(G)$ – длина критических связей; $L_GA(G)$ – величина суммарной длины соединений; $L_Dr(G)$ – суммарная длина задержек на КС; $L_Er(G)$ – суммарное электропотребление на КС (оно связано с суммарной площадью областей, занятых цепями КС); $N_Kr > 0$ и $N_GA = 0$ – условие оптимизации ЦФ, основанное на соблюдении критерия длин критических связей; $N_Kr = 0$ и $N_GA > 0$ – условие оптимизации ЦФ, основанное на выполнении критерия суммарной длины соединений; $N_Kr > 0$ и $N_GA > 0$ – условие оптимизации ЦФ, основанное на одновременном соблюдении критериев длин критических связей и суммарной длины соединений; α , β – коэффициенты полезности вышеуказанных критериев, которые определяются на основании конструкторского опыта или экспертных оценок; $Compl_Kr(G)$ – комплексный критерий оценки качества размещения определяется формулой:

$$Compl_Kr(G) = W_1 L_Kr(G) + W_2 L_GA(G) + W_3 L_Dr(G) + W_4 L_Er(G).$$

Коэффициенты $W_1 + W_2 + W_3 + W_4 = 1$ и определяются на основе нечеткого множества $\{0,1\}$.

Требование оптимизации: $Compl_Kr(G) \rightarrow \min$, т.е. необходимо, чтобы весовая функция была наименьшей для всевозможных способов отождествления вершин графа и узлов решетки. Приведенные критерии косвенно связаны с критерием суммарной длины соединений. Они получили распространение в существующих эвристиках размещения. При использовании этих критериев происходит учет тепловой и электромагнитной совместимости элементов, повышается эффективность упаковки, трассировки и сжатия области коммутационного пространства.

Использование комплексного критерия при разработке алгоритмов размещения позволяет повысить качество полученной конструкции за счет учета реальных знаний эксперта-конструктора. Это связано с тем, что основной задачей размещения элементов является получение конструкции не только с минимальной длиной соединений, но и с созданием условий для последующих этапов трассировки соединений, сжатия и верификации.

2 Модифицированная технология ИПА. В СППР при автоматизированном конструкторском проектировании эффективны различные стратегии, концепции, методы, механизмы. В задачах размещения любое альтернативное решение представляется набором параметров x_i , представляющих один элемент некоторого множества альтернативных решений. Поиск решений в случайно выбранном направлении часто не приводит к квазиоптимальному реальному решению. В этой связи наиболее интересной является модифицированная технология ИПА (инспирированные природой алгоритмы), приведенная на рис. 1.

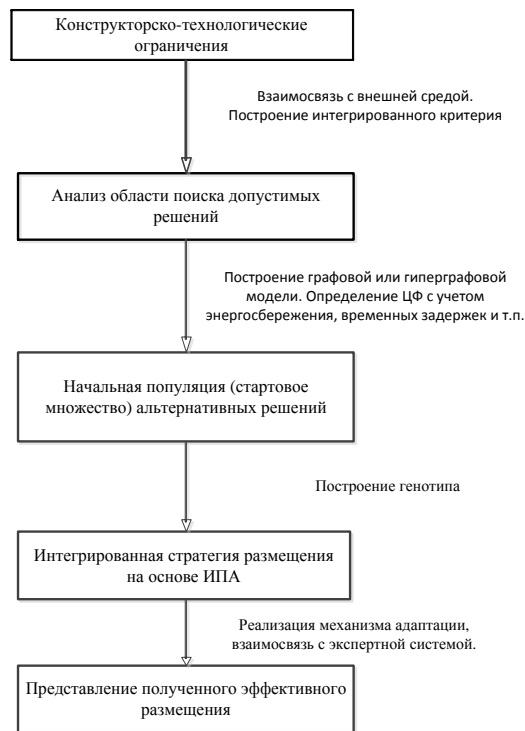


Рис. 1. Технология построения ИПА

Изначально на основе конструкторско-технологических ограничений при взаимосвязи с внешней средой сокращается область поиска допустимых решений. Далее, эта область анализируется, случайным или направленным образом генерируется начальная популяция или стартовое множество альтернативных решений, которое в дальнейшем развивается на основе выбранной эволюционной стратегии.

3. Схема интегрированного поиска. Упрощенная схема интегрированного поиска для решения задачи размещения, представлена на рис. 2 [13]. Здесь на «вход» поступают данные, полученные с предыдущего шага конструкторского проектирования (этап компоновки). В блоке предварительного размещения возможно использование «быстрых» алгоритмов (парных перестановок, метод ветвей и границ, релаксации и т.п.) для получения первоначального размещения. Далее, на основе знаний и опыта экспертов (блоки ЭС, БД, БЗ), происходит выбор методики наиболее приемлемой для решения поставленной задачи. В данном случае используются ИПА – алгоритмы, инспирированные природными системами. АС – модифицированный алгоритм Ant Colony, РИ – алгоритм на основе роевого интеллекта, БА, ГА, ЖА, ЭА и МО – бионический, генетический, жадный, эволюционный и моделирования отжига алгоритмы размещения. Затем происходит оценка эффективности, полученного решения. В случае получения удовлетворительного результата окончательный вариант размещения на следующий этап конструкторского проектирования (трассировка). Иначе происходит изменение управляющих параметров, процесс повторяется либо до достижения критерия останова, либо до получения приемлемого решения.

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

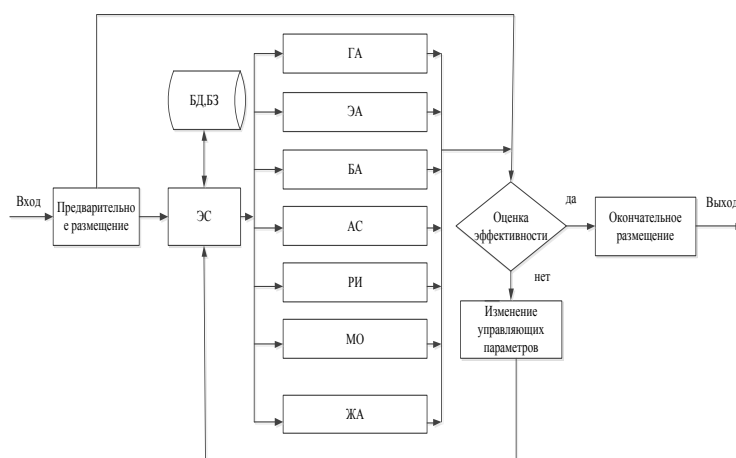


Рис. 2. Упрощенная схема интегрированного поиска

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

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

На основе перечисленных требований был разработан ряд инспирируемых природой алгоритмов размещения элементов схем ЭВА [17, 19]. Пример работы алгоритма поведения стаи серых волков в живой природе представлен далее.

4 Алгоритм поведения стаи серых волков. Алгоритм серого волка – мета-эвристический алгоритм поиска. Данный алгоритм был предложен Сейдали Мирджалили в 2013 году [7]. Работа алгоритма построена на основе модели охоты стаи серых волков. Полагают, что к волку, находящемуся ближе всего к добыче, перестраиваются остальные волки, образуя нечто похожее на кольцо. Далее волки опять приближаются к волку находящемуся ближе всего к добыче. Процесс перестроения происходит до тех пор, пока волки не собираются в стаю, это и будет оптимальное направление для атаки с минимальным расстоянием до добычи. Разработаны специальные математические модели, позволяющие имитировать процесс поведения стаи. Данные модели описывают: социальную иерархию, слеже-

ние, окружение и атаку [7, 8]. Изначально данный алгоритм в большей степени был предназначен для решения векторных задач. Поэтому возникла необходимость адаптации основных принципов работы алгоритма для решения задачи размещения. Инициализация исходной популяции стаи волков представляется в виде хромосом и осуществляется их кодирование/декодирование в соответствии со следующим принципом: номер ген в хромосомах – это посадочные места, а значения в этих генах - номера элементов, которые будут на этих посадочных местах.

Основные положения работы данного алгоритма заключаются в следующем. Предполагается существование четырех типов серых волков по иерархии, таких как Альфа – лидеры стаи, Бета – помощники Альфа, Дельта – старейшины и дозорные и Омега – все остальные. И есть три основных этапа охоты: поиск, окружение и нападение на жертву, реализуемые для выполнения оптимизации. На рис. 3 представлен этап окружения жертвы. Предполагается, что Альфа (лучший кандидат решения) Бета и Дельта имеют более четкое представление о потенциальном месте добычи. С помощью разработанных математических моделей, поисковые агенты (Омега-волки) обновляют свои позиции в соответствии с Альфа, Бета и Дельта-волками в N мерном пространстве поиска. Окончательная позиция будет в случайном месте внутри круга, который определяется положениями Альфа, Бета и Дельта в пространстве поиска. Другими словами Альфа, Бета и Дельта оценивают положение добычи, и другие волки обновляют свои позиции случайным образом вокруг добычи. Это обновление показано на рис. 4.

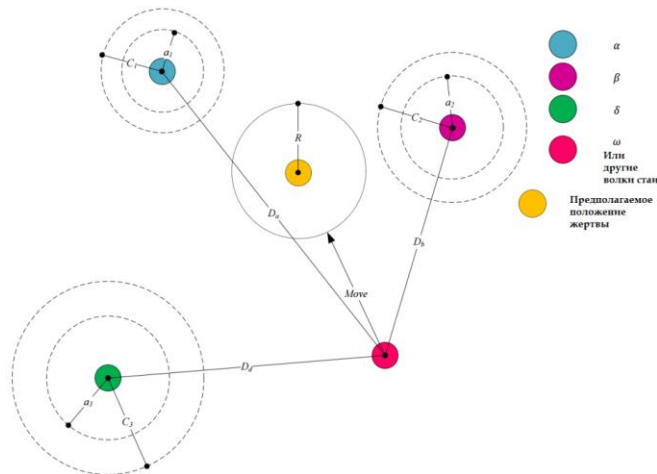


Рис. 3. Окружение

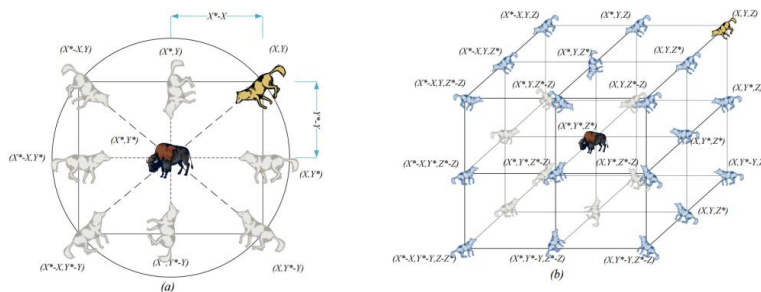


Рис. 4. Обновление позиций

Основные шаги схемы алгоритма стаи серых волков имеют следующий вид.

1. Инициализация начальной популяции хромосом X_i ($i = 1, 2, \dots, n$)
2. Инициализация параметра a . На данном этапе задается количество мутаций над хромосомами, что обеспечивает эффективное выполнение таких этапов работы алгоритма, как атака и разведка.
3. Вычисление приспособленности (целевой функции) каждого поискового агента.
4. $X_\alpha, X_\beta, X_\delta$ – наиболее перспективные поисковые агенты в данный момент времени. Предполагается, что $X_\alpha, X_\beta, X_\delta$ волки наиболее эффективным образом осуществляют поиск жертвы и ее окружения. Для этого необходимо отсортировать все хромосомы по возрастанию ЦФ.
5. $X_\alpha, X_\beta, X_\delta$ будут являться первые три хромосомы.
6. Число итераций задается в исходных данных. По достижении этого параметра фиксируется значение X_α .
7. Происходит обновление позиций волков X_{t+1} вокруг жертвы относительно $X_\alpha, X_\beta, X_\delta$. Для этого необходимо выполнить упорядочивающий кроссинговер по следующему принципу: $X_\alpha * X_\beta \rightarrow X^*$; $X^* * X_\delta \rightarrow X_{t+1}$. Таким образом, X_{t+1} получит свойства $X_\alpha, X_\beta, X_\delta$.
8. Обновление параметра a , который уменьшается в ходе итераций, сокращая, таким образом, область поиска. Другими словами параметр a , как уже упоминалось, имитирует атаку.
9. В каждой итерации необходимо выполнять вычисление ЦФ всех поисковых агентов для дальнейшей фиксации лучшего решения.
10. Обновление X_α, X_β и X_δ как наиболее перспективных решений.
11. Если критерий «Кол-во итераций» достигнут, то следует фиксация X_α , как самого лучшего решения.

6. Результаты вычислительных экспериментов. Экспериментальные исследования проводились на различных графах размерностью до 500 вершин. Одна из основных задач при использовании биоинспирированных алгоритмов – это поиск оптимальных параметров, при которых алгоритм показывает наиболее эффективные решения.

Определено оптимальное значение параметра a для АСВ. Исходные данные: размер популяции 100, число итераций 100, число размещаемых элементов 50. Результаты эксперимента приведены на рис. 5.

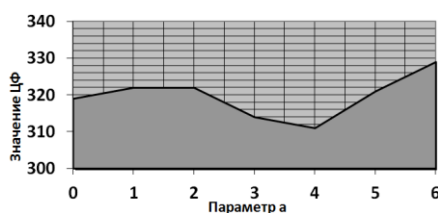


Рис. 5. Зависимость значения ЦФ от параметра a

В результате эксперимента установлено, что оптимальным значением параметра a при данной выборке является 4.

На рис. 6 приведена зависимость времени работы АСВ от числа размещаемых элементов. Как видно, из графика, полученного на основе экспериментальных данных, ВСА зависит квадратично от числа элементов.

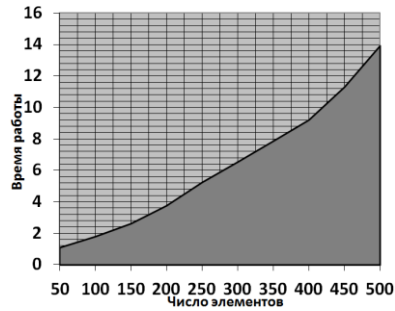


Рис. 6. Зависимость времени работы ACSB от числа размещаемых элементов

Проведен сравнительный анализ решений, полученных при помощи ГА, МА, ПА и ACSB для графа из 100 вершин при ограничении в 300 итераций для каждого алгоритма. Размер популяции во всех алгоритмах равен 100. Итоговый результат работы программного модуля по данному эксперименту показан на рис. 7.

Таблица 1

Сравнительный анализ работы алгоритмов

	Время работы, сек.	Значение ЦФ
ГА	9.563	1284
МА	38.407	1122
ПА	36.61	1064
ACSB	9.376	916

Как видно из табл. 1, ACSB является наиболее быстрым и эффективным алгоритмом из исследуемых биоинспирированных алгоритмов.

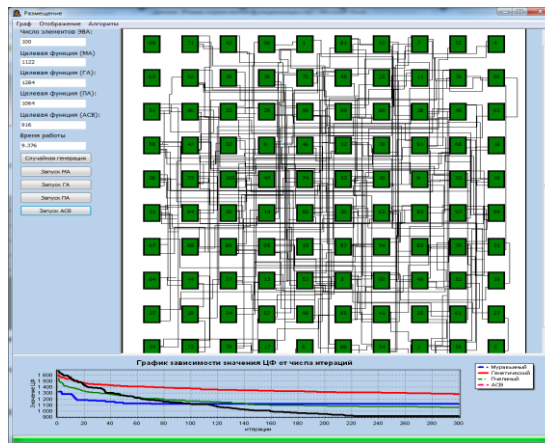


Рис. 7. Сравнительный анализ работы ГА, МА, ПА, ACSB

Заключение. В работе рассмотрен модифицированный подход к построению современных интеллектуальных информационных систем для задач проектирования и управления. Данный подход используется при разработке алгоритмов, инспирированных природными системами, для эффективного принятия решения в задачах САПР. Предлагаемая методика решения задач конструкторского проектирования ЭВА на основе алгоритмов, инспирированных природными системами, позволяет расширить область поиска данных без увеличения времени работы, со-

кратить преждевременную сходимость алгоритмов, повысить эффективность и качество получаемых решений. Данная работа показывает, что интеллект стаи с успехом можно применять для нахождения оптимального решения в размещении ЭВА. Следует отметить, что существует возможность дальнейшей модернизации рассмотренного алгоритма, для улучшения полученных результатов.

Эксперименты показали, что при размещении элементов на рабочем пространстве использование модифицированных ГО, нестандартных методов поиска и комбинированных моделей позволяет получать набор оптимальных решений. Из проведенных экспериментов следует, что в общем случае ВСА приближенно $O(n^2)$. Анализ экспериментов позволяет отметить, что инспирированные природой алгоритмы требуют больших затрат времени, но позволяют получать набор локально-оптимальных решений, в частном случае – оптимальных решений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Карпенко А.П.* Современные алгоритмы поисковой оптимизации Алгоритмы, вдохновленные природой: учебное пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 446 с.
2. *Поспелов Д.А.* Данные и знания. Искусственный интеллект. В 3 кн. Кн. 1. – М.: Радио и связь, 1990. – 464 с.
3. *Норенков И.П.* Основы автоматизированного проектирования: учебник для ВУЗов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 432 с.
4. *Курейчик В.М., Курейчик В.В.* Эволюционные, синергетические и гомеостатические стратегии в искусственном интеллекте: состояние и перспективы // Новости искусственного интеллекта. – 2000. – № 3. – С. 39-67.
5. *Мальшев В.В., Пиявский Б.С., Пиявский С.А.* Методы принятия решений в условиях многообразия способов учета неопределенности // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2010. – № 1. – С. 46-61.
6. *Курейчик В.М., Лебедев Б.К., Лебедев В.Б.* Планирование сверхбольших интегральных схем на основе интеграции моделей адаптивного поиска // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2013. – № 1. – С. 84-101.
7. *Mirjalili S., Lewis A.* Grey Wolf Optimizer - Advances in Engineering Software 69. – 2014. – С. 46-61.
8. *Madadi A., Motlagh M.* Optimal Control of DC motor using Grey Wolf Optimizer Algorithm // Technical Journal of Engineering and Applied Science. – 2014. – No. 4-04. – P. 373-379.
9. *Гаврилова Т.А. Хорошевский В.Ф.* Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб: Питер, 2000. – 384 с.
10. *Gladkov L.A., Kureichik V.V., Kravchenko Yu.A.* Evolutionary Algorithm for Extremal Subsets Comprehension in Graphs // World Applied Sciences Journal. – 2013. – No. 24 (14).
11. *Курейчик В.М., Курейчик В.В., Родзин С.И.* Концепция эволюционных вычислений, инспирированных природными системами // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 4. – С. 16-25.
12. *Курейчик В.М., Лебедев Б.К., Лебедев О.Б.* Гибридный алгоритм разбиения на основе природных механизмов принятия решений // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2012. – № 2. – С. 3-15.
13. *Kureichik V.V., Kureichik V.M., Sorokoletov P.V.* Analysis and a survey of evolutionary models // Journal of Computer and Systems Sciences International. – 2007. – Vol. 46, No. 5. – С. 779-791.
14. *Курейчик В.В., Курейчик Вл.Вл.* Интегрированный алгоритм размещения фрагментов СБИС // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – № 7 (156). – С. 84-93.
15. *Курейчик В.М., Курейчик В.В., Родзин С.И.* Модели параллелизма эволюционных вычислений // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2011. – № 3. – С. 93-97.
16. *Курейчик В.В., Курейчик В.М., Gladkov L.A., Sorokoletov P.V.* Бионспирированные методы в оптимизации. – М.: Физмалит, 2009. – 384 с.
17. *Курейчик В.М., Лебедев Б.К., Лебедев О.Б.* Разбиение на основе моделирования адаптивного поведения биологических систем // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2010. – № 2. – С. 28-34.

18. *Лебедев Б.К., Лебедев В.Б.* Размещение на основе метода пчелиной колонии // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 12 (113). – С. 12-19.
19. *Гладков Л.А.* Гибридный генетический алгоритм решения задачи размещения элементов СБИС с учетом трассируемости соединений // Вестник ростовского государственного университета путей сообщения. – 2011. – № 3. – С. 58-66.
20. *Курейчик В.В., Бова В.В., Курейчик Вл.Вл.* Комбинированный поиск при проектировании // Образовательные ресурсы и технологии. – 2014. – № 2 (5). – С. 90-94.
21. *Кулиев Э.В., Лежебоков А.А.* Исследование характеристик гибридного алгоритма размещения // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 3 (140). – С. 255-261.

REFERENCES

1. *Karpenko A.P.* Sovremennyye algoritmy poiskovoy optimizatsii Algoritmy, vdokhnovlennyye prirodoy: uchebnoye posobie [Modern algorithms of search optimization algorithms, the inspiration provided by nature: a training manual]. Moscow: Izd-vo MGTU im. N.E. Bauman, 2014, 446 p.
2. *Pospelov D.A.* Dannyye i znaniya. Iskusstvennyy intellekt [The data and knowledge. Artificial intelligence]. In 3 book. Book 1. Moscow: Radio i svyaz', 1990, 464 p.
3. *Norenkov I.P.* Osnovy avtomatizirovannogo proektirovaniya: uchebnyk dlya VUZov [Fundamentals of computer-aided design: textbook for Universities]. Moscow: Izd-vo MGTU im. N.E. Bauman, 2009, 432 p.
4. *Kureychik V.M., Kureychik V.V.* Evolyutsionnyye, sinergeticheskiye i gomeostaticheskiye strategii v iskusstvennom intellekte: sostoyaniye i perspektivy [Evolutionary, synergetic and homeostatic strategies in artificial intelligence: state and prospects], *Novosti iskusstvennogo intellekta* [AI News], 2000, No. 3, pp. 39-67.
5. *Malyshev V.V., Piyavskiy B.S., Piyavskiy S.A.* Metody prinyatiya resheniy v usloviyakh mnogoobraziya sposobov ucheta neopredelennosti [Decision-making methods in a variety of ways of accounting for the uncertainty], *Izvestiya RAN. Teoriya i sistemy upravleniya* [Journal of Computer and Systems Sciences International], 2010, No. 1, pp. 46-61.
6. *Kureychik V.M., Lebedev B.K., Lebedev V.B.* Planirovaniye sverkhbol'shikh integral'nykh skhem na osnove integratsii modeley adaptivnogo poiska [Planning ultralarge integrated circuits on the basis of integration models adaptive search], *Izvestiya RAN. Teoriya i sistemy upravleniya* [Journal of Computer and Systems Sciences International], 2013, No. 1, pp. 84-101.
7. *Mirjalili S., Lewis A.* Grey Wolf Optimizer - *Advances in Engineering Software* 69, 2014, pp. 46-61.
8. *Madadi A., Motlagh M.* Optimal Control of DC motor using Grey Wolf Optimizer Algorithm, *Technical Journal of Engineering and Applied Science*, 2014, No. 4-04, pp. 373-379.
9. *Gavrilova T.A., Khoroshevskiy V.F.* Bazy znaniy intellektual'nykh sistem [Knowledge base of intelligent systems]. St. Petersburg: Piter, 2000, 384 p.
10. *Gladkov L.A., Kureichik V.V., Kravchenko Yu.A.* Evolutionary Algorithm for Extremal Subsets Comprehension in Graphs, *World Applied Sciences Journal*, 2013, No. 24 (14).
11. *Kureychik V.M., Kureychik V.V., Rodzin S.I.* Kontseptsiya evolyutsionnykh vychisleniy, inspirirovannykh prirodnyimi sistemami [Concept evolutionary computation is inspired by natural systems], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskiye nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2009, No. 4, pp. 16-25.
12. *Kureychik V.M., Lebedev B.K., Lebedev O.B.* Gibridnyy algoritm razbiyeniya na osnove prirodnykh mekhanizmov prinyatiya resheniy [A hybrid algorithm of splitting based on natural mechanisms of decision-making], *Iskusstvennyy intellekt i prinyatie resheniy* [Artificial Intelligence and Decision Making], 2012, No. 2, pp. 3-15.
13. *Kureichik V.V., Kureichik V.M., Sorokoletov P.V.* Analysis and a survey of evolutionary models, *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 2007, Vol. 46, No. 5, pp. 779-791.
14. *Kureychik V.V., Kureychik V.V.* Integrirovannyy algoritm razmeshcheniya fragmentov SBIS [Integrated vlsi fragment placement algorithm], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskiye nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2014, No. 7 (156), pp. 84-93.
15. *Kureychik V.M., Kureychik V.V., Rodzin S.I.* Modeli parallelizma evolyutsionnykh vychisleniy [Models of parallelism in evolutionary computing], *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya* [Vestnik of Rostov state University of Railways], 2011, No. 3, pp. 93-97.

16. Kureychik V.V., Kureychik V.M., Gladkov L.A., Sorokoletov P.V. Bionspirovannyye metody v optimizatsii [Inspirovannyye metody v optimizatsii]. Moscow: Fizmalit, 2009, 384 p.
17. Kureychik V.M., Lebedev B.K., Lebedev O.B. Razbienie na osnove modelirovaniya adaptivnogo povedeniya biologicheskikh sistem [Partitioning based on simulation of ADAP-alternative behavior of biological systems], *Neyrokomp'yutery: razrabotka, primenenie* [Neurocomputers: Development, Application], 2010, No. 2, pp. 28-34.
18. Lebedev B.K., Lebedev V.B. Razmeshchenie na osnove metoda pchelinoy kolonii [Placement on the basis of the bee colony method], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2010, No. 12 (113), pp. 12-19.
19. Gladkov L.A. Gibridnyy geneticheskiy algoritm resheniya zadachi razmeshcheniya elementov SBIS s uchedom trassiruemosti soedineniy [A hybrid genetic algorithm for solving the problem of placing of elements VLSI taking into account the traceability of compounds], *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya* [Vestnik of Rostov state University of Railways], 2011, No. 3, pp. 58-66.
20. Kureychik V.V., Bova V.V., Kureychik V.I. Kombinirovannyi poisk pri proektirovanii [Combined search in the design], *Obrazovatel'nye resursy i tekhnologii* [Educational Resources and Technology], 2014, No. 2 (5), pp. 90-94.
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 рекомендовала к опубликованию д.т.н., профессор Л.С. Лисицына.

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

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

УДК 519.87:681.51

Р.А. Нейдорф, М.Н.М. Мохсен, А.Р. Нейдорф

УНИФИКАЦИЯ ЗАДАЧ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И СИНТЕЗА ЗАКОНОВ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПЕРЕМЕННЫМИ*

Исследована проблема построения математических моделей процессов и аппаратов технологических систем, использующих жидкие среды при совместном протекании химических, массообменных, теплообменных и других процессов. Показано, что общность базовой модели накопления в любом технологическом объеме вещества или энергии, которые обобщены понятием субстанции, позволяет унифицировать построение моделей многих технологических объектов. Вводятся базовые переменные, обозначающие накапливаемые субстанции, аккумулирующие объемы и потоки обмена с другими объектами технологической системы. Унификация возможна при сосредоточенности параметров. Аппарат, характеризующийся единым объемом с протекающими технологическими процессами, представляется системой однотипных базовых дифференциальных уравнений баланса преобразуемых в нем субстанций. Они преобразуются в рабочие математические модели изменения переменных технологического состояния аппарата подстановкой вместо базовых переменных локальных математических моделей отдельных свойств исследуемого процесса. Эти модели выражаются через измеряемые переменные технологического состояния аппарата, а также через конструктивные, механические, физико-химические и другие параметры моделируемого технологического объекта. Анализируются структурные возмож-

* Работа выполнена в рамках индивидуального плана аспирантской подготовки.