

Gladkov Leonid Anatol'evich – Southern Federal University; e-mail: leo@tgn.sfedu.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: 88634371625; the department of CAD; associate professor.

Gladkova Nadezhda Viktorovna – phone: +78634393260; the department of DM&MO; senior teacher.

УДК 004.82

Э.В. Кулиев, Д.Ю. Запорожец, Вл.Вл. Курейчик

КОМБИНИРОВАННЫЙ ПОДХОД АДАПТАЦИИ И САМООРГАНИЗАЦИИ К ОБРАБОТКЕ ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ЗНАНИЙ*

Рассмотрена проблема комбинированного подхода адаптации и самоорганизации к обработке проблемно-ориентированных знаний. Суть комбинированного подхода заключается в последовательной работе бионического и генетического алгоритмов. Бионический алгоритм основан на применении модели поведения колонии пчел в живой природе. Данный механизм позволяет эффективно решать проблему предварительной сходимости алгоритма за счет разбиения пространства поиска на динамически изменяющиеся области. Поиск производится параллельно в каждой области, что увеличивает скорость работы алгоритма. Решение поставленной проблемы продемонстрировано на примере исследования окрестностей комбинированными методами поиска решений. Представлена постановка задачи проблемно-ориентированных знаний поиска оптимальных решений. Предложен обобщенный подход к построению критерия оптимальности для решения задачи обработки проблемно-ориентированных знаний. Разработана модифицированная архитектура комбинированного подхода для решения задачи обработки проблемно-ориентированных знаний, основанная на симбиозе биоинспирированных алгоритмов. Данная архитектура включает в себя основные компоненты бионического поиска, основанного на эвристике поведения роя пчел в живой природе, блока эволюционной адаптации, необходимого для динамической настройки управляющих параметров и блока внешней среды, представляющего собой лицо, принимающее решения. Проведены экспериментальные исследования, в ходе которых эмпирически были подтверждены теоретические оценки временной сложности разработанного алгоритма. Было выявлено, что при использовании разработанной комбинированной архитектуры, уменьшается доля случайности и увеличивается фактор направленности алгоритма. Серии тестов показали, что временная сложность не выходит за рамки полиномиальной зависимости. В лучшем случае временная сложность алгоритмов $O(n \log n)$, в худшем случае – $O(n^2)$.

Генетический алгоритм; эволюционный алгоритм; комбинированный подход; адаптация; окрестность; популяция; самоорганизация; проблемно-ориентированные знания.

E.V. Kuliev, D.Y. Zaporozhets, Vl.Vl. Kureichik

A COMBINED APPROACH OF ADAPTATION AND SELF-PROCESSING PROBLEM-ORIENTED KNOWLEDGE

In the article the problem of a combined approach to the adaptation and self-handling problem-oriented knowledge. The essence of the combined approach is consistent work bionic and genetic algorithms. Bionic algorithm is based on the use patterns of behavior of the colony of bees in the wild. This mechanism allows you to effectively solve the problem of pre-convergence of the algorithm by splitting the search space on a dynamically changing field. The search is performed

* Исследование выполнено за счет гранта РФФИ (проект № 14-11-00242) в Южном федеральном университете.

in parallel in each area, which increases the speed of the algorithm. The solution of the problem demonstrated by the combined methods of exploring the region to find solutions. Presented formulation of the problem of problem-oriented knowledge of the search for optimal solutions. A generalized approach to the construction of the optimality criterion for the solution of the task of handling the problem-oriented knowledge. A modified architecture of a combined approach to solving the problem of handling the problem-oriented knowledge, based on the symbiosis of bioinspired algorithms. This architecture includes the main components of bionic research based on heuristics conduct a swarm of bees in the wild, the unit of evolutionary adaptation necessary to dynamically adjust control parameters and block the external environment, which is the decision maker. Experimental studies in which empirically been confirmed theoretical assessments of the time complexity of the algorithm. It was found that by using a combination of architecture developed, and decreases the chance factor is increased focus algorithm. Series of tests have shown that the time complexity is not beyond the polynomial dependence. At best, the time complexity of algorithms $O(n \log n)$, in the worst case – $O(n^2)$.

Genetic algorithm; evolutionary algorithm; combined approach; adaptation; neighborhood; population; self-organization; problem-oriented knowledge.

Введение. В настоящее время постоянно происходит увеличение потоков информации, связанных с так называемой проблемой «проклятия размерности». Одной из основных проблем науки и техники является решение задач обработки проблемно-ориентированных знаний. Требуется разработка теории, принципов и построение интегрированных моделей и методов для эффективного решения проблемно – ориентированных задач. Эффективными способами анализа и обработки множества данных и знаний являются моделирование эволюционного развития природы, адаптация, иерархическая самоорганизация, использование генетического поиска, программирования, бионических и генетических алгоритмов [1, 2].

Разработка комбинированных методов для решения задач обработки проблемно-ориентированных знаний позволит проводить этапы анализа, синтеза и моделирования альтернативных решений с учетом опыта, знаний и предпочтений разработчиков, конструкторов и технологов. Для эффективного принятия решений необходимо каждый раз определять сходимость множеству решений (родители), в результате чего возникают новые альтернативные решения – потомки. Технология моделирования эволюции преобразуется в комплекс алгоритмов смены поколений [3]. В этой связи становится необходимой интеграция природно-инспирированных и поисковых методов с целью модернизации проблемно-ориентированных знаний. Одним из таких подходов является использование методов моделирования эволюции, применение биоинспирированных, бионических и генетических алгоритмов, эволюционных стратегий, адаптации и взаимодействия с внешней средой.

В последнее время началась разработка и исследование возможностей применения алгоритмов, инспирированных природными системами, для эффективной обработки проблемно-ориентированных знаний. При этом постоянно возникает конфликт между сложностью и требованиями принятия эффективных решений в реальном масштабе времени. Данные проблемы не могут быть полностью решены параллелизмом процесса принятия решений, увеличением числа операторов, пользователей и лиц, принимающих решения (ЛПР) [4–6]. Одним из возможных подходов к решению этой проблемы является использование новых технологий на стыке информатики и бионики.

Одним из новейших методов интеллектуальной оптимизации является метод роевого интеллекта, такие как пчелиная и муравьиная колонии, рой частиц, коллективная адаптация. Сложность проблемы состоит в том, что при решении рассматриваемой задачи необходимо обрабатывать большие массивы данных. Поэтому предлагается комбинированный подход на основе интеграции методов биоинспирированного поиска и моделей адаптивного поведения к обработке про-

блемно-ориентированных знаний. Заложенные в каждой модели метаэвристики при их интеграции усиливают возможности и эффективность алгоритмов. Такой подход позволит частично решить проблему преждевременной сходимости, обеспечит выход из локальных оптимумов и повысит скорость получения результата.

Большинство задач обработки проблемно-ориентированных знаний являются NP-трудными, что определяет необходимость использования для решения этих задач различных эвристических алгоритмов и специального программного обеспечения. В настоящее время существует много эвристических алгоритмов и реализующих их программного обеспечения. Однако, существует целый ряд особенностей конкретных производственных систем, которые могут быть учтены только в специализированных алгоритмах и программном обеспечении. В качестве примера рассмотрим предложенный подход для решения задачи распределения ресурсов.

Постановка задачи. Опишем постановку задачи обработки проблемно-ориентированных знаний поиска оптимальных решений целевой функции (F). На начальном этапе фиксируется множество объектов Z (популяция решений). Среди объектов необходимо выбрать наилучшие по критерию оптимальности F . Критерий оптимальности формируется на основе свойств объектов, представляет отображение вида $F: Z \rightarrow R$, которое каждому объекту $z \in Z$ из множества Z сопоставляет значение $F(x)$. Природа множества объектов произвольна, поэтому строится кодированное представление множества объектов в конечном векторном множестве S (генотип). Отображение вида $\varphi: Z \rightarrow S$ описывает связь между исследуемыми объектами, которые являются решениями задачи поиска, и объектами, управление и манипулирование которыми осуществляет алгоритм поиска [7–9, 11].

В процессе оптимизации множество Z эволюционирует к оптимальному состоянию, изменяя свой состав и параметры входящих в него объектов. Способ построения множества объектов $s \in S$ определяется алгоритмом биоинспирированного поиска. Эволюция множества Z определяется эволюцией популяции S . На множестве S определяется подмножество P_0 – случайная начальная популяция. Решение на каждом шаге эволюции определяется разностной вычислительной схемой $P_{t+1} = A(P_t)$, где A – композиция различных эволюционных операторов [10]. Критерий оптимальности вычисляется на каждом шаге в процессе отбора решений по критерию, реализуемому в композиции операторов эволюции A .

Модифицированная архитектура комбинированного подхода в задачах обработки проблемно-ориентированных знаний. Важным вопросом при решении задачи обработки проблемно-ориентированных знаний является предварительная сходимость алгоритмов. Иначе говоря, попадание решений в локальный оптимум. В связи с этим стала необходимость разработки методов и архитектур поиска решений, позволяющих сократить количество компьютерных ресурсов, а также получить оптимальные и квазиоптимальные результаты за полиномиальное время.

Применение методов эволюционного моделирования, генетического поиска, принципов адаптации и самоорганизации используют для повышения эффективности решения задач обработки проблемно-ориентированных знаний.

Для решения задачи обработки проблемно-ориентированных знаний разработана модифицированная архитектура комбинированного подхода (рис. 1). Входными параметрами модифицированной комбинированной архитектуры являются необходимые конструктивные ограничения, управляющие параметры генетического алгоритма (размер популяции, вероятности выполнения генетических операторов).

Опишем процесс поиска, представленный на рис. 1 более детально.

Формирование начального решения (блок № 1) на основе заданной целевой функции производит отбор среди имеющихся альтернативных решений (блок № 3). Блок роевого интеллекта (блок №4) выполняет операции определения функции окре-

стности, реализацию пчелиного алгоритма, а также проверку критерия останова. Число итераций задается в исходных данных. По достижению данного параметра наилучшие значения фиксируются. Далее производится поиск лучших решений целевой функции в новых точках. Критерием отбора является минимальное значение целевой функции из всех найденных. После проведенного поиска лучших значений целевой функции формируется матрица решений, и алгоритм возвращается на новую итерацию поиска решений. Для формирования окрестностей поиска используют случайную перестановку в хромосоме. Перестановка осуществляется посредством изменения положения двух соседних ген в стринге. В процессе нахождения функции окрестности необходимо знать оценку качества позиции, а также полученного решения.

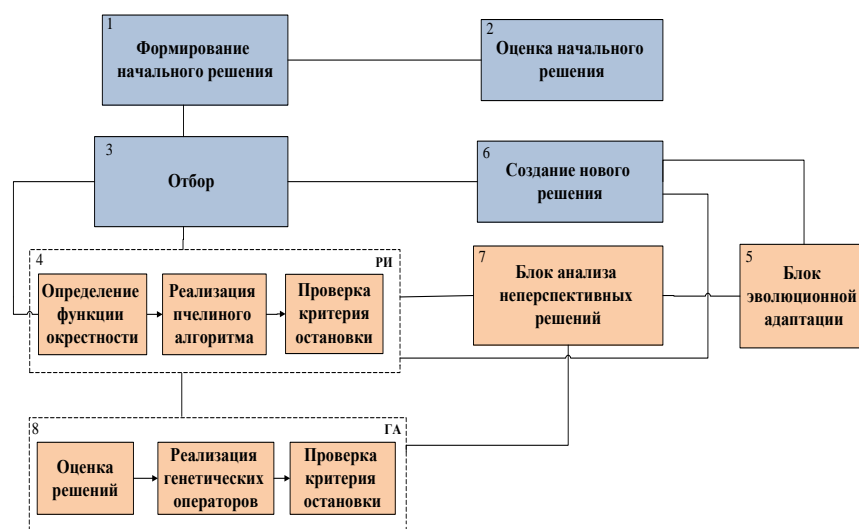


Рис. 1. Архитектура модифицированного комбинированного подхода

Далее начинает работу генетический алгоритм, а именно происходит оценка решений, реализация генетических операторов и проверка критерия останова (блок № 8). Помимо оператора кроссинговера, предлагается использовать операторы мутации и инверсии. Таким образом, создается новое множество альтернативных решений. Для каждого решения вычисляется оценка приспособленности. Блок эволюционной адаптации (ЭА) применяется с целью выбора и реализации различных механизмов адаптации и изменения порядка использования различных генетических операторов. Достоинством применения блока эволюционной адаптации заключается в процессе изменения текущей популяции альтернативных решений и создания новой популяции.

Блок анализа неперспективных решений (Блок № 7) анализирует и собирает решения в ходе выполнения генетического алгоритма. Каждому индивиду в ходе проведенного анализа присваивается определённый ранг (перспективное, неперспективное, тривиальное и др.).

Модифицированная структура комбинированного поиска. Для решения задачи распределения ресурсов предлагается модифицированная структура комбинированного поиска, представленная на рис. 2.

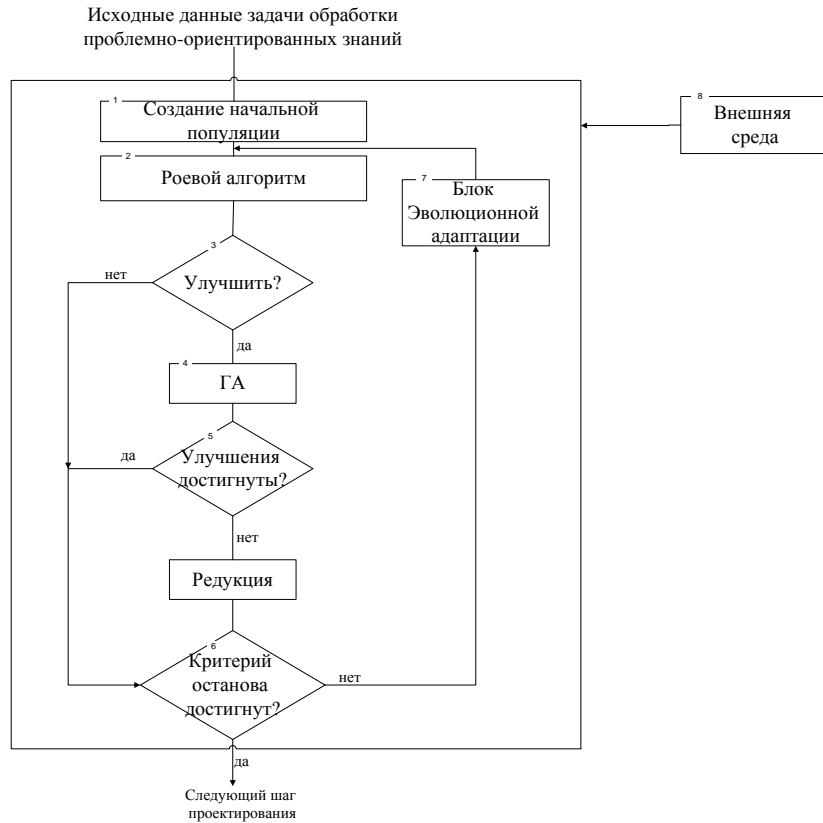


Рис. 2. Модифицированная структура комбинированного поиска

В рассмотренной структуре введена адаптационная вероятность, отсекающая решения с низким значением целевой функции.

Рассмотренная структура включает в себя основные компоненты бионического поиска. Для улучшения его работы возможно добавление новых алгоритмов, блока эволюционной адаптации, блока внешней среды и т.п.

Модифицированная структура комбинированного поиска включает в себя блоки базового ГА, а также роевой алгоритм, блоки эволюционной адаптации и внешней среды.

Разработанная структура модифицированного комбинированного поиска позволяет формировать популяции альтернативных решений, а также улучшать качество решений на каждой итерации.

На вход поступают основные данные: здесь вводится вся информация о коммутационном поле и коммутационной схеме (количество связей, количество элементов, матрица смежности).

Далее работает роевой алгоритм. В качестве роевого алгоритма предложена работа пчелиного алгоритма. Принцип работы пчелиного алгоритма основан на поведении пчел в живой природе в поисках нектара. Поведение пчёл моделируется следующим образом. Незанятый агент находится в улье до тех пор, пока не получит сигнал от занятого фуражира посредством виляющего танца; если такой сигнал получен, то агент перемещается к соответствующему источнику нектара; в противном случае – он может сам стать разведчиком через некоторое время; если в предполагаемом источнике нектара есть нектар, то агент приносит его в улей и моделирует выполнение виляющего танца.

Такая стратегия позволяет быстрее находить локально-оптимальные результаты.

После работы роевого алгоритма в блоке «Улучшить?» анализируются полученные решения. Если необходимо улучшить решение, то переходим к блоку генетического алгоритма, иначе к блоку «Критерий останова достигнут?».

В блоке ГА применяются методы селекции и их модификации, которые дают возможность в большинстве случаев решить проблему предварительной сходимости. Для обеспечения хороших начальных решений используют генетические алгоритмы и эвристику предварительной обработки.

Под критерием останова принимаются ограничения на максимальное число итераций, либо сходимость алгоритма. Сходимость алгоритма определяется посредством сравнения значений ЦФ популяции на нескольких итерациях. Алгоритм заканчивает свою работу в случае стабилизации этого параметра.

Следует отметить, что блок эволюционной адаптации применяется в случае, если критерий останова не достигнут и процесс поиска продолжается итерационно. Работа блока эволюционной адаптации основывается на формировании новой популяции альтернативных решений.

На основе вышесказанного можно выделить основные отличия комбинированного алгоритма от поисковых методов оптимизации:

- ◆ Комбинированный алгоритм допускает распараллеливание процесса поиска.
- ◆ Генетический алгоритм и эволюционный алгоритм оперируют одновременно всей совокупностью допускаемых решений для получения альтернативных решений.
- ◆ Генетический алгоритм и эволюционный алгоритм основаны на вероятностных, детерминированных и комбинированных схемах преобразования решений.
- ◆ Комбинированный алгоритм – это стратегия поиска, построенная на вычислении ЦФ и не требует знания дополнительной информации.
- ◆ Комбинированный алгоритм осуществляет поиск локального решения по одной и той же стратегии для различных целевых функций.

Применение методов эволюционного моделирования, генетического поиска, принципов адаптации и самоорганизации, используют для повышения эффективности решения задач обработки проблемно-ориентированных знаний.

Экспериментальные исследования. Алгоритм как объект разработки, с одной стороны, и средство решения задачи, с другой стороны, является таким же предметом исследования, как те задачи, которые с помощью него решаются. С прикладной точки зрения разработчика алгоритма интересуют такие вопросы как:

- ◆ качество решения, предоставляемого алгоритмом.
- ◆ скорость решения поставленной задачи (время работы).

Алгоритм является точным, если на любом допустимом наборе входных данных он обеспечивает получение 100 % оптимального решения. Точное решение гарантировано может быть получено только методами полного перебора, но эти методы нельзя использовать для решения реальных NP-полных задач большой размерности.

Вычислительная сложность – это физическое время реализации алгоритма на заданном наборе входных данных. Вычислительную сложность можно определить как сумму произведений количества операций одного типа на время выполнения одной операции данного типа.

Временная сложность алгоритма – это зависимость времени работы от размерности решаемой задачи. Временная сложность всего алгоритма складывается из временных сложностей составляющих его шагов и методов поиска.

Определим теоретическую оценку временной сложности комбинированного подхода. Начальное решение задачи можно получить последовательным алгоритмом, временная сложность которого имеет линейный характер $O(\alpha N)$, или алгоритмом «слепого» поиска, временная сложность которого составляет $O(\beta IN)$, где I – это количество итераций (шагов) выполняемых алгоритмом. В результате анализа выходных данных авторами отмечается, что временная сложность разработанного модифицированного алгоритма не выходит за пределы полиномиальной зависимости, и может быть выражена формулой: $O(\alpha N^2) - O(\beta N^3)$, где N – число элементов схемы (размер решаемой задачи) [4, 6]. Проведем вычислительный эксперимент разработанного подхода для решения задачи распределения ресурсов. Исследования проводились на различных тестовых примерах, размер популяции равен 50 особям, вероятность ОК – 85 %, ОМ – 20 %, количество колоний ГА – 4, уровень миграций – средний. Усредненные результаты экспериментов отражены на рис. 3.

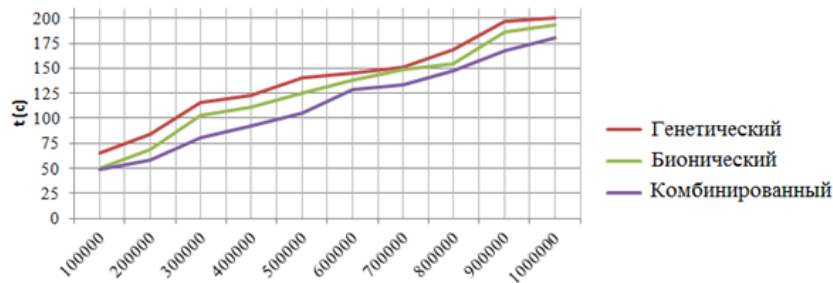


Рис. 3. Зависимость времени работы алгоритмов от размера задачи

Для определения эффективности разработанного метода были проведены исследования качества решения задачи распределения ресурсов на тестовых примерах. На рис. 4 приведены зависимости условной целевой функции от количества работ.

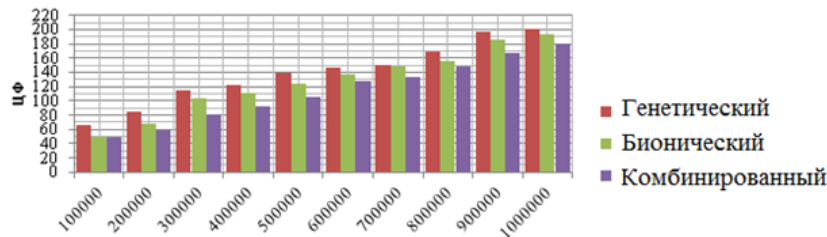


Рис. 4. Гистограмма сравнения качества решения

На основе анализа проведенных экспериментальных исследований решения задачи распределения ресурсов позволяет сделать вывод, что качество решения полученного на основе комбинированного поиска в среднем на 10 % эффективнее, чем стандартный генетический бионический алгоритмы.

Заключение. В работе рассмотрена проблема комбинированного подхода адаптации и самоорганизации к обработке проблемно-ориентированных знаний. Основная идея предложенного комбинированного подхода заключается в последовательной работе бионического и генетического алгоритмов. Решение поставленной проблемы продемонстрировано на примере исследования окрестностей комбинированными методами поиска решений. Разработана модифицированная архитектура комбинированного подхода в задачах обработки проблемно-ориентированных знаний. Применение методов эволюционного моделирования, генетического поиска, принципов адаптации

и самоорганизации, используют для повышения эффективности решения задач обработки проблемно-ориентированных знаний. Рассмотрен пример решения задачи распределения ресурсов. Разработана программная среда на языке C++. Проведен вычислительный эксперимент. Проведенные серии тестов и экспериментов позволили уточнить теоретические оценки временной сложности разработанных алгоритмов интеллектуального анализа данных и их поведение для схем различной структуры. Отметим, что применение генетических и эволюционных алгоритмов целесообразнее на задачах малой размерности (до 2000 элементов), а при решении задач интеллектуального анализа данных, приближенные к промышленным объемам (более 10000 элементов), эффективным является комбинированный поиск. В лучшем случае временная сложность алгоритмов $O(n \log n)$, в худшем случае $O(n^2)$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Норенков И.П., Арутюнян Н.М.* Эволюционные методы в задачах выбора проектных решений // Электронное научно-техническое издание. – 2007. – № 9.
2. *Holland J.H.* Adaptation in Natural&Artificial Systems. Ann Arbor: Uni of Michigan Press, 1975.
3. *Курейчик В.В., Курейчик Вл.Вл.* Бионический поиск при проектировании и управлении // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 11 (136). – С. 178-183.
4. *Курейчик В.В., Курейчик В.М., Родзин С.И.* Теория эволюционных вычислений. – М.: Физматлит, 2012. – 260 с.
5. *Bastos-Filho C.J.A., Lima-Neto F.B., Lins A., Nascimento, A., Lima, M.* Fish School Search. Nature-inspired Algorithms for Optimization (NISCO'2010). – Springer, Heidelberg, 2009. – Vol. 193. – P. 261-277.
6. *Курейчик В.В., Курейчик Вл.Вл.* Архитектура гибридного поиска при проектировании // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 7 (132). – С. 22-27.
7. *Курейчик В.М., Лебедев Б.К., Лебедев О.Б.* Поисковая адаптация: теория и практика. – М.: Физматлит, 2006. – 272 с.
8. *Курейчик В.В., Сороколетов П.В.* Концептуальная модель представления решений в генетических алгоритмах // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2008. – № 9 (86). – С. 7-12.
9. *Кулиев Э.В., Лежебоков А.А.* Исследование характеристик гибридного алгоритма размещения // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 3 (140). – С. 255- 261.
10. *Bova V.V., Lezhebokov A.A., Gladkov L.A.* Problem-oriented algorithms of solutions search based on the methods of swarm intelligence // World Applied Sciences Journal. – 2013. – Vol. 27, No. 9. – С. 1201-1205.
11. *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.
12. *Курейчик В.В., Курейчик В.М., Родзин С.И.* Концепция эволюционных вычислений, инспирированных природными системами // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 4 (93). – С. 16-24.
13. *Kurejchik V.M.* Genetic algorithms: state of the art, problems, and perspectives // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. – 1999. – Т. 38, № 1. – С. 144-161.
14. *Кравченко Ю.А., Бова В.В., Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М., Кулиев Э.В., Лежебоков А.А., Лебедев Б.К., Лебедев О.Б., Нужнов Е.В., Родзин С.И.* Принятие решений, поиск и обработка проблемно-ориентированных знаний в интеллектуальных информационных системах. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2014. – 136 с.
15. *Курейчик, В.М.* Совместные методы квантового и бионического поиска // Интеллектуальные системы (IEE AIS'04). Интеллектуальные САПР (CAD-2004): Тр. Междунар. науч.-техн. конф. – М.: Физматлит, 2004. – С. 12-19.
16. *Цой Ю.Р., Спицын В.Г.* К выбору размера популяции // Интеллектуальные системы (IEE AIS'04). Интеллектуальные САПР (CAD-2004): Тр. Междунар. науч.-техн. конф. – М.: Физматлит, 2004. – С. 90-96.
17. *Qing He, Xiu-Rong Zhao, Ping Luo, Zhong-Zhi Shi.* Combination methodologies of multi-agent hyper surface classifiers: design and implementation issues // Second international workshop, AIS-ADM 2007, Proceedings. – Springer Berlin Heidelberg, 2007. – P. 100-113.

18. Бова В.В., Гладков Л.А., Кравченко Ю.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М., Щеглов С.Н. Технологии интеллектуального анализа и извлечения данных на основе принципов эволюционного моделирования. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – 124 с.
19. Rodzin S.I., Rodzina L.S. Theory of Bioinspired Search for Optimal Solutions and its Application for the Processing of Problem-Oriented Knowledge // Proc. of the 8th IEEE Int. Conf. Application of Information and Communication Technologies (AICT'2014), Astana, Kazakhstan. – P. 142-146.

REFERENCES

1. Norenkov I.P., Arutyunyan N.M. Evolyutsionnye metody v zadachakh vybora proektnykh resheniy [Evolutionary techniques in the problems of choice of design solutions], *Elektronnoe nauchno-tekhnicheskoe izdanie* [Electronic scientific and technical edition], 2007, № 9.
2. Holland J.H. Adaptation in Natural&Artificial Systems. Ann Arbor: Uni of Michigan Press, 1975.
3. Kureichik V.V., Kureichik V.I. Bionicheskiy poisk pri proektirovani i upravlenii [Search inspired by natural systems, for the design and management], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2012, No. 11 (136), pp. 178-183.
4. Kureichik V.V., Kureichik V.M., Rodzin S.I. Teoriya evolyutsionnykh vychisleniy [The theory of evolutionary computation]. Moscow: Fizmatlit, 2012, 260 p.
5. Bastos-Filho C.J.A., Lima-Neto F.B., Lins A., Nascimento, A., Lima, M. Fish School Search. Nature-inspired Algorithms for Optimization (NISCO'2010). Springer, Heidelberg, 2009, Vol. 193, pp. 261-277.
6. Kureichik V.V., Kureichik V.I. Arkhitektura gibridnogo poiska pri proektirovani [The architecture of hybrid search for design], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2012, No. 7 (132), pp. 22-27.
7. Kureichik V.M., Lebedev B.K., Lebedev O.B. Poiskovaya adaptatsiya: teoriya i praktika [Search adaptation: theory and practice]. Moscow: Fizmatlit, 2006, 272 p.
8. Kureichik V.V., Sorokoletov P.V. Kontseptual'naya model' predstavleniya resheniy v geneticheskikh algoritмах [Conceptual model of decisions representation in genetic algorithms], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2008, No. 9 (86), pp. 7-12.
9. 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.
10. Bova V.V., Lezhebokov A.A., Gladkov L.A. Problem-oriented algorithms of solutions search based on the methods of swarm intelligence, *World Applied Sciences Journal*, 2013, Vol. 27, No. 9, pp. 1201-1205.
11. Bova V.V., Kureichik 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.
12. Kureichik V.V., Kureichik V.M., Rodzin S.I. Kontseptsiya evolyutsionnykh vychisleniy, inspirirovannykh prirodnyimi sistemami [Concept evolutionary computation is inspired by natural systems], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2009, No. 4 (93), pp. 16-24.
13. Kureichik V.M. Genetic algorithms: state of the art, problems, and perspectives, *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Teoriya i sistemy upravleniya* [Journal of Computer and Systems Sciences International], 1999, Vol. 38, No. 1, pp. 144-161.
14. Kravchenko Yu.A., Bova V.V., Gladkov L.A., Kureichik V.V., Kureichik V.M., Kuliev E.V., Lezhebokov A.A., Lebedev B.K., Lebedev O.B., Nuzhnov E.V., Rodzin S.I. Prinyatie resheniy, poisk i obrabotka problemno-orientirovannykh znaniy v intellektual'nykh informatsionnykh sistemakh [Decision making, search and processing of problem-oriented knowledge in intelligent information systems]. Rostov-on-Don: Izd-vo YuFU, 2014, 136 p.
15. Kureichik, V.M. Sovmestnye metody kvantovogo i bionicheskogo poiska [Joint methods in quantum and biologically inspired search], *Intellektual'nye sistemy (IEE AIS'04). Intellektual'nye SAPR (CAD-2004): Tr. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.* [Intelligent systems (IEE AIS'04). Intelligent CAD systems (CAD-2004): proceedings of the International scientific and technical conference]. Moscow: Fizmatlit, 2004, pp. 12-19.

16. Tsoy Yu.R., Spitsyn V.G. K vyboru razmera populyatsii [The choice of the population size], *Intellektual'nye sistemy (IEE AIS'04). Intellektual'nye SAPR (CAD-2004): Tr. Mezhdunar. nauch.-tekh. konf.* [Intelligent systems (IEE AIS'04). Intelligent CAD systems (CAD-2004): proceedings of the International scientific and technical conference]. Moscow: Fizmatlit, 2004, pp. 90-96.
17. Qing He, Xiu-Rong Zhao, Ping Luo, Zhong-Zhi Shi. Combination methodologies of multi-agent hyper surface classifiers: design and implementation issues, *Second international workshop, AIS-ADM 2007, Proceedings*. Springer Berlin Heidelberg, 2007, pp. 100-113.
18. Bova V.V., Gladkov L.A., Kravchenko Yu.A., Kureichik V.V., Kureichik V.M., Scheglov S.N. Tekhnologii intellektual'nogo analiza i izvlecheniya dannykh na osnove printsipov evolyutsionnogo modelirovaniya [Technology mining and data extraction on the basis of the principles of the evolution of modeling]. Taganrog: Izd-vo TTI YuFU, 2009, 124 p.
19. Rodzin S.I., Rodzina L.S. Theory of Bioinspired Search for Optimal Solutions and its Application for the Processing of Problem-Oriented Knowledge, *Proc. of the 8th IEEE Int. Conf. Application of Information and Communication Technologies (AICT'2014), Astana, Kazakhstan*, pp. 142-146.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Н.И. Витиска.

Кулиев Эльмар Валерьевич – Южный федеральный университет; e-mail: elmar_2005@mail.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371651; кафедра систем автоматизированного проектирования; ассистент.

Запорожец Дмитрий Юрьевич – e-mail: elpilasgsm@gmail.com; кафедра систем автоматизированного проектирования; ассистент.

Курейчик Владимир Владимирович – e-mail: kureichik@yandex.ru; кафедра системного анализа и телекоммуникаций; студент.

Kuliev Elmar Valerievich – Southern Federal University; e-mail: elmar_2005@mail.ru; 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371651; the department of system analysis and telecommunications; assistant.

Zaporozhets Dmitriy Yrievich – e-mail: elpilasgsm@gmail.com; the department of computer aided design; assistant.

Kureichik Vladimir Vladimirovich – e-mail: kureichik@yandex.ru; the department of system analysis and telecommunications; student.

УДК 004.92

В.В. Бова, А.А. Лежебоков, Е.В. Нужнов

ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ С ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТЬЮ*

Проанализированы современные технологии и методы создания образовательных информационных систем и подсистем, предложены способы и механизмы разработки информационных подсистем на основе взаимодействия игровых сценариев и технологии дополненной и виртуальной реальности. Предложена структурная модель построения программного модуля, учитывающего потребности широкого круга пользователей, для поддержки процесса проведения образовательных лекционных и практических занятий. Разработана информационно-логическая модель информационной системы, отображающая

* Исследование выполнено за счет гранта РФФИ (проект № 14-11-00242) в Южном федеральном университете.