















алгоритм использует связку концепций LPT и MF. Очевидно, что такая связка дает более хороший результат. В свою очередь, алгоритм АСО опережает DJMS, что обусловлено использованием вероятностного подхода и выцветанием отдельных альтернативных выборов решений.

Сравним алгоритмы АСО и СПА.

Для исследования эффективности этих алгоритмов проведены вычислительные эксперименты при разных значениях параметров задачи. В задаче приводятся такие же параметры, как и в предыдущем опыте, за исключением диапазона работ. В качестве параметра, характеризующего ресурсно-точные свойства, выбран  $P_{opt}$  – доля оптимальных решений.

Таблица 2 позволяет сравнить алгоритмы СПА и АСО. В данном случае применялся алгоритм селективных перестановок, использующий одинарные перестановки. Данные для СПА взяты из [23].

Таблица 2

## Сравнение СПА и АСО

Table 2

## Comparison of selective-permutation algorithm and ACO

| $n$ | $m$ | $U$     | СПА | АСО |
|-----|-----|---------|-----|-----|
| 5   | 33  | [35,65] | 95  | 99  |
| 5   | 33  | [15,85] | 80  | 98  |
| 5   | 63  | [35,65] | 100 | 99  |
| 5   | 63  | [15,85] | 100 | 100 |
| 6   | 48  | [25,75] | 72  | 98  |
| 7   | 33  | [35,65] | 79  | 99  |
| 7   | 33  | [15,85] | 57  | 97  |
| 7   | 63  | [35,65] | 42  | 98  |
| 7   | 63  | [15,85] | 46  | 98  |

Алгоритм муравьиной колонии показал эффективность 98,6 %, в то время как эффективность алгоритма ListScheduling составила 21,9 %, ThresholdHeuristic – 79,1 % и Scattersearch – 97,7 % (результаты были взяты из [24]).

Стоит отметить, что алгоритм моделирования поведения колонии муравьев показывает хорошие результаты на абсолютно различных диапазонах мощностей работ, что связано с имитацией откладывания феромона во время работы алгоритма.

По сравнению с алгоритмом DJMS метод показывает гораздо более хороший результат благодаря использованию более мощной эвристики.

Методы СПА и АСО показывают приблизительно равные результаты с преимуществом метода АСО около 2,5 %. Также стоит отметить, что метод АСО показывает более хороший результат на большом диапазоне работ. В целом данный метод имеет преимущество.

## Заключение

В работе предложена новая парадигма комбинаторной оптимизации, которая базируется на моде-

лировании адаптивного поведения муравьиной колонии и представляет графическое решение однородной распределительной задачи в виде двудольного графа. Также для решения однородных распределительных задач предложены новые механизмы. Муравьем на графе поиска решений строится двудольный граф в отличие от канонической парадигмы муравьиного алгоритма. В оптимизационных задачах, допускающих представление решения в виде двудольных графов, этот способ поиска рациональных решений является наиболее эффективным.

В частности, путем незначительной модификации конструктивного алгоритма муравья разработанный алгоритм, решающий однородные распределительные задачи, может также решать задачу о назначениях.

Подбор наиболее адекватных управляющих параметров может стать источником усовершенствования данного алгоритма. Решением другой проблемы, которая может улучшить критерий качества, является установление очередности рассматриваемых работ. Улучшение качества можно получить с помощью интеграции различных методов роевого интеллекта.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 17-07-00997.*

## Литература

1. Лазарев А.А., Гафаров Е.Р. Теория расписаний. Задачи и алгоритмы. М.: Изд-во МГУ, 2011. 188 с.
2. Майоров С.А., Новиков Г.И. Вычислительные комплексы, системы и сети. СПб: Энергоатомиздат, 1987. 329 с.
3. Романовский И.В. Алгоритмы решения экстремальных задач. М.: Наука, 1977. 156 с.
4. Нейдорф Р.А., Жикюлин А.А. Быстродействующая модификация алгоритма оптимизации решения // AIS-IT'14: тр. Конгресса по интелект. сист. и информ. технол. В 4-х т. М.: Физматлит, 2010. Т. 1. С. 15–22.
5. Кобак В.Г., Будиловский Д.М. Сравнительный анализ приближенных алгоритмов решения минимаксной задачи для однородных приборов // Вестн. Донск. гос. техн. ун-та. 2006. № 4. С. 327–334.
6. Нейдорф Р.А., Жикюлин А.А. Исследование вариантов модификации приближенных алгоритмов решения однородных распределительных задач, повышающих их эффективность // Инновация, экология и ресурсосберегающие технологии (ИнЭРТ-2012): тр. X Междунар. науч.-техн. форума. Ростов н/Д: Изд-во ДГТУ, 2012. С. 370–375.
7. Нейдорф Р.А., Жикюлин А.А. Селективно-перестановочный метод приближенного решения однородной распределительной задачи. Комбинаторные перестановки // Изв. ЮФУ. Сер. Технич. науки. 2013. № 7. С. 167–172.
8. Кобак В.Г. Эффективные методы решения однородных распределительных задач на основе минимаксного критерия. Ростов н/Д: Изд-во ДГТУ, 2013. 99 с.
9. Титов Д.В. Методы повышения эффективности алгоритмов решения распределительных минимаксных задач в однородных системах: дисс. ... канд. технич. наук. Ростов н/Д: Изд-во ДГТУ, 2010. 179 с.
10. Жикюлин А.А. Методы высокоэффективной ресурсной модификации алгоритма Романовского для решения однородных распределительных задач. дисс. ... канд. технич. наук. Ростов н/Д: Изд-во ДГТУ, 2014. 156 с.



11. Davidović T., Šelmić M., Teodorović D., Ramljak D. Bee colony optimization for scheduling independent tasks to identical processors. *Jour. of Heuristics* 2012, vol. 18, iss. 4, pp. 549–569.
12. Demirel T., Özkır V., Demirel N.Ç., Taşdelen B. A Genetic Algorithm approach for minimizing total tardiness in parallel machine scheduling problems. *Proc. World Congress on Engineering*, 2011, vol. II, pp. 267–281.
13. Raghavendral B.V., Murthy A.N. Workload balancing in identical parallel machine scheduling while planning in flexible manufacturing system using genetic algorithm. *ARN J. of Engineering and Applied Sciences*, 2011, vol. 6, pp. 113–126.
14. Aslam M.U., Nasr M.M., Al-Harkan I.M. Scheduling of jobs on identical parallel machines to minimize total flow time subject to optimal makespan. *Applied Mechanics and Materials*, 2014, vol. 529, pp. 390–395.
15. Akyol D.E. Identical parallel machine scheduling with dynamical networks using time-varying penalty parameters. *Multiprocessor Scheduling, Theory and Applications*, I-Tech Education and Publishing, 2007, pp. 293–315.
16. Dorigo M. and Stützle T. *Ant colony optimization*. MIT Press, Cambridge, MA, 2004, 234 p.
17. Лебедев О.Б. Модели адаптивного поведения муравьиной колонии в задачах проектирования: монография. Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2013. 199 с.
18. Raidl G.R. A unified view on hybrid metaheuristics. *LNCS. Springer-Verlag*, 2006, pp. 1–12.
19. Лебедев Б.К., Лебедев О.Б. Моделирование адаптивного поведения муравьиной колонии при поиске решений, интерпретируемых деревьями // *Изв. ЮФУ*. 2012. № 7. С. 27–35.
20. Лебедев В.Б., Лебедев О.Б. Роевой интеллект на основе интеграции моделей адаптивного поведения муравьиной и пчелиной колоний // *Изв. ЮФУ*. 2013. № 7. С. 41–47.
21. 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.
22. Лебедев Б.К., Лебедев О.Б., Нацкевич А.Н. Решение однородной распределительной задачи методом моделирования адаптивного поведения колонии муравьев. *Свид. о гос. регистр. прог. для ЭВМ № 2017611229 от 27.01.2017*.
23. A new algorithm to minimize makespan on identical parallel machines. URL: <http://www.pomsmeetings.org/confpapers/025/025-0543.pdf> (дата обращения: 09.04.2017).
24. Iori M., Martello S. Scatter search algorithms for identical parallel machine scheduling problems. URL: [http://www.springer.com/cda/content/document/cda\\_downloaddocument/9783540789840-c1.pdf?SGWID=0-0-45-552307-p173814816](http://www.springer.com/cda/content/document/cda_downloaddocument/9783540789840-c1.pdf?SGWID=0-0-45-552307-p173814816) (дата обращения: 09.04.2017).

Software &amp; Systems

DOI: 10.15827/0236-235X.118.217-226

Received 10.04.17

2017, vol. 30, no. 2, pp. 217–226

### A HOMOGENEOUS DISTRIBUTION PROBLEM BASED ON ANT COLONY ADAPTIVE BEHAVIOOR MODELS

**B.K. Lebedev**<sup>1</sup>, *Dr.Sc. (Engineering), Professor, lebedev.b.k@gmail.com*

**O.B. Lebedev**<sup>1</sup>, *Ph.D. (Engineering), Associate Professor, lebedev.ob@mail.ru*

**E.M. Lebedeva**<sup>1</sup>, *Postgraduate Student, lebedeva.el.m@mail.ru*

<sup>1</sup>*Institute of Computer Technology and Information Security, Southern Federal University, Engels St. 1, Taganrog, 347928, Russian Federation*

**Abstract.** The paper proposes a solution of a homogeneous distribution problem. It gives the problem statement, describes the main groups of algorithms to solve it (approximate and exact) and their advantages and disadvantages. The paper proposes a new paradigm of combinatorial optimization, which is based on modeling the adaptive behavior of an ant colony.

The solution of a homogeneous distribution problem is its graphical representation as a bipartite graph. New decision mechanisms were proposed to solve these problems. The basis of metaheuristics of an ant colony algorithm is a combination of two techniques. The first basic technique is to perform the search for the best solution using an ant colony adaptive behavior. An ant builds a specific solution using a built-in procedure, which is based on a constructive algorithm. A bipartite graph that is built on the solution search graph is the main difference of the proposed ant algorithm from the existing canonical paradigm.

When finding optimal solutions for optimization problems, which allow presenting solutions in the form of bipartite graphs, this approach will be fairly effective.

The conducted researches showed that the ant algorithm gives more qualitative solutions in comparison with the known algorithms. Comparing known and developed algorithms, we can say that the results improved by 3–4 %.

**Keywords:** assignment problem, bipartite graph, optimization, swarm intelligence, ant colony, adaptive behavior, homogeneous distribution problem.

**Acknowledgements.** *The work has been financially supported by the Russian Foundation for Basic Research, grant no. 17-07-00997.*

### References

1. Lazarev A.A., Gafarov E.R. *Teoriya raspisany. Zadachi i algoritmy* [The Scheduling Theory. Tasks and Algorithms]. Moscow, Lomonosov MSU Publ., 2011.
2. Mayorov S.A., Novikov G.I. *Vychislitelnye komplekсы, sistemy i seti* [Computer Complexes, Systems and Networks]. St. Petersburg, Energoatomizdat Publ., 1987.

3. Romanovsky I.V. *Algoritmy resheniya ekstremalnykh zadach* [Solution Algorithms for Extremum Problems]. Moscow, Nauka Publ., 1977.
4. Neydorf R.A., Zhikulin A.A. A Quick-operating modification of the Solution optimization algorithm. *AIS-IT'14: tr. Kongr. po intellekt. sist. i inform. tekhnol.* [Proc. Congr. on Intelligent Systems and IT]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2010, vol. 1, pp. 15–22 (in Russ.).
5. Kobak V.G., Budilovsky D.M. A comparative analysis of approximate algorithms to solve a minimax problem for homogeneous instruments. *Vestn. DGTU* [Vestnik of DSTU]. 2006, no. 4, pp. 327–334 (in Russ.).
6. Neydorf R.A., Zhikulin A.A. A research on variations of approximate algorithms for solving a homogeneous distribution problems, which increase their effectiveness. *Innovatsiya, ekologiya i resursosberegayushchie tekhnologii (InERT-2012): tr. X Mezhdunar. nauch.-tekhn. foruma* [Proc. 10<sup>th</sup> Int. Science and Technical Forum on Innovation, Ecology and Resource-Saving Technologies (InERT-2012)]. Rostov-on-Don, DGTU Publ., 2012, pp. 370–375 (in Russ.).
7. Neydorf R.A., Zhikulin A.A. Selective-permutation method for finding an approximate solution of the open shop scheduling problem. Combinational permutations. *Izv. YuFU. Ser. Tekhnich. nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences]. 2013, no. 7, pp. 167–172 (in Russ.).
8. Kobak V.G. *Effektivnye metody resheniya odnorodnykh raspredelitelnykh zadach na osnove minimaksnogo kriteriya* [Efficient Methods for Solving Homogeneous Distribution Problems Based on a Minimax Criterion]. Rostov-on-Don, DGTU Publ., 2013, 99 p.
9. Titov D.V. *Metody povysheniya effektivnosti algoritmov resheniya raspredelitelnykh minimaksnyykh zadach v odnorodnykh sistemakh* [Improving Algorithm Practices of Distribution Minimax Problems in Homogeneous Systems]. PhD thesis. Rostov-on-Don, DGTU Publ., 2010.
10. Zhikulin A.A. *Metody vysokoeffektivnoy resursnoy modifikatsii algoritma Romanovskogo dlya resheniya odnorodnykh raspredelitelnykh zadach* [The Methods of Highly Efficient Resource Modification of Romanovsky Algorithm to Solve Homogeneous Distribution Problems]. PhD thesis. Rostov-on-Don, DGTU Publ., 2014.
11. Davidović T., Šelmić M., Teodorović D., Ramljak D. Bee colony optimization for scheduling independent tasks to identical processors. *Jour. of Heuristics*. 2012, vol. 18, iss. 4, pp. 549–569.
12. Demirel T., Özkır V., Demirel N.Ç., Taşdelen B. A Genetic Algorithm approach for minimizing total tardiness in parallel machine scheduling problems. *Proc. World Congr. on Engineering*. 2011, vol. 2.
13. Raghavendra B.V., Murthy A.N. Workload balancing in identical parallel machine scheduling while planning in flexible manufacturing system using genetic algorithm. *ARNP Jour. of Engineering and Applied Sciences*. 2011, vol. 6.
14. Aslam M.U., Nasr M.M., Al-Harkan I.M. Scheduling of jobs on identical parallel machines to minimize total flow time subject to optimal makespan. *Applied Mechanics and Materials*. 2014, vol. 529, pp. 390–395.
15. Akyol D.E. Identical parallel machine scheduling with dynamical networks using time-varying penalty parameters. *Multiprocessor Scheduling, Theory and Applications*. I-Tech Education and Publ., 2007, pp. 293–315.
16. Dorigo M., Stützle T. *Ant Colony Optimization*. MIT Press, Cambridge, MA, 2004.
17. Lebedev O.B. *Modeli adaptivnogo povedeniya muravinoy kolonii v zadachakh proektirovaniya* [Ant Colony Adaptive Behavior Models in Design Problems]. Monograph. Taganrog, SFedU Publ., 2013, 199 p.
18. Raidl G.R. A unified view on hybrid metaheuristics. *LNCIS*. Springer-Verlag Publ., 2006, pp. 1–12.
19. Lebedev B.K., Lebedev O.B. Modelling of an ant colony adaptive behaviour by search of the decisions interpreted by trees. *Izv. YuFU. Ser. Tekhnich. nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences]. 2012, no. 7, pp. 27–35 (in Russ.).
20. Lebedev V.B., Lebedev O.B. Swarm intelligence on the basis of the adaptive behaviour models integration of the ant and bee colonies. *Izv. YuFU. Ser. Tekhnich. nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences]. 2013, no. 7, pp. 41–47 (in Russ.).
21. Kureychik V.M., Lebedev B.K., Lebedev O.B. Partitioning on the basis of modeling of adaptive behaviour of biological systems. *Neyrokomp'yutery: razrabotka, primeneniye* [Neurocomputers: Design and Applications]. 2010, no. 2, pp. 28–34 (in Russ.).
22. Lebedev B.K., Lebedev O.B., Natskevich A.N. *Reshenie odnorodnoy raspredelitelnoy zadachi metodom modelirovaniya adaptivnogo povedeniya kolonii muravev* [Solving a Homogeneous Distribution Problem by the Method of Modeling Ant Colony Adaptive Behavior]. State Registration Certificate of a computer program no. 2017611229. 2017.
23. *A New Algorithm to Minimize Makespan on Identical Parallel Machines*. Available at: <http://www.pomsmeetings.org/confpapers/025/025-0543.pdf> (accessed April 9, 2017).
24. Iori M., Martello S. *Scatter Search Algorithms for Identical Parallel Machine Scheduling Problems*. Available at: [http://www.springer.com/cda/content/document/cda\\_downloaddocument/9783540789840-c1.pdf?SGWID=0-0-45-552307-p173814816](http://www.springer.com/cda/content/document/cda_downloaddocument/9783540789840-c1.pdf?SGWID=0-0-45-552307-p173814816) (accessed April 9, 2017).

## Примеры библиографического описания статьи

1. Лебедев Б.К., Лебедев О.Б., Лебедева Е.М. Однородная распределительная задача на основе моделей адаптивного поведения муравьиной колонии // Программные продукты и системы. 2017. Т. 30. № 2. С. 217–226; DOI: 10.15827/0236-235X.118.217-226.
2. Lebedev B.K., Lebedev O.B., Lebedeva E.M. A homogeneous distribution problem based on ant colony adaptive behavior models. *Programmnye produkty i sistemy* [Software & Systems]. 2017, vol. 30, no. 2, pp. 217–226 (in Russ.); DOI: 10.15827/0236-235X.118.217-226.