

ISSN: 2658–5782

Номер 3–4

2022

# МНОГОФАЗНЫЕ СИСТЕМЫ

[mfs.uimech.org](https://mfs.uimech.org)





## Использование муравьиного алгоритма для поиска стратегии поведения группы мобильных роботов на рабочем поле с препятствиями<sup>1</sup>

Даринцев О.В., Мигранов А.Б.

Институт механики им. Р.Р. Мавлютова УФИЦ РАН, Уфа

Рассматривается более сложный вариант решения проблемы распределения задач в группе мобильных роботов при наличии препятствий в рабочем пространстве. Работа является продолжением цикла исследований, в которых базовым алгоритмом решения поставленных задач являлся один из видов муравьиного алгоритма — метод мультиколониальной муравьиной системы в сочетании с алгоритмом планирования траектории, реализованный с использованием принципа динамического программирования. Скорректированы постановка задачи, модель рабочего пространства, цели функционирования роботов и параметры, характеризующие их работу. Проведен выбор свободных параметров муравьиного алгоритма для выполнения многокритериальной оптимизации и настройки решения: число итераций, количество межколониальных групп муравьев, вес концентрации феромона дуг, вес эвристической привлекательности дуг и коэффициент испарения феромона. Представлены результаты вычислительных экспериментов, проведенных при наличии в рабочем пространстве статических (известных заранее) и динамических (другие роботы) препятствий. Апробация предложенного алгоритма проводилась на примере группы, состоящей из трех роботов, выполняющих 10 заданий. Как показано в результатах вычислительных экспериментов траектории роботов строятся на подмножестве свободных ячеек рабочего пространства и не пересекают ячейки с препятствиями. При этом конфигурация рабочего поля влияет не только на фактические маршруты роботов, но и на перераспределение заданий между ними, и число задействованных роботов. Дополнительно проведена серия вычислительных экспериментов с разными комбинациями значений свободных параметров для определения оптимальных соотношений и реализации более эффективного муравьиного алгоритма. Оптимизация проводилась методом однократной настройки, что позволило найти требуемые значения свободных параметров. Показано, что выполненная подстройка параметров позволила снизить относительную погрешность при синтезе оптимального маршрута перемещения группы роботов на 3–6 %.

**Ключевые слова:** группа роботов, муравьиный алгоритм, распределение задач, планирование траекторий

### 1. Введение

Во многих зарубежных лабораториях проводятся разработки мобильных роботов в комплексе с системами управления и планирования для выполнения различного типа задач — от бытовых до военных [1]. Новые модификации обладают расширенным спектром выполняемых задач, а также наличием более функциональных бло-

ков связи как с диспетчерским пунктом [2], так и между группой роботов [3], что позволяет создавать на их базе группировки мобильных роботов, ориентированных на решение комплексных, многоэтапных задач [4, 5].

При переходе к управлению группой роботов первоочередной становится задача оптимального распределения ресурсов группы с учетом фактического перечня задач и обстановки на рабочем поле (в такой постановке ее можно отнести к проблемам поиска оптимальных стратегий поведения группы мобильных роботов), решению которой посвящено множество работ [3, 6, 7].

<sup>1</sup>Работа поддержана средствами государственного задания № 0246-2018-007.

Ранее, в целом цикле работ, авторами уже рассматривалась возможность применения нейронных сетей [8], генетических алгоритмов [9] и муравьиного алгоритма [10] для поиска стратегии распределения задач в группе роботов. Наиболее близкой к полученным решениям является статья [10], в которой была рассмотрена задача построения оптимальной стратегии управления произвольной группой мобильных роботов для выполнения произвольного числа заданий с учетом нескольких критериев эффективности. Тогда впервые авторами для решения задачи был использован муравьиный алгоритм — метод мультиколониальной муравьиной системы (Ant Multi-Colony Optimization, AMCO) [11, 12], сформулирована многокритериальная функция оптимизации, с последующей ее скаляризацией. Так как это был первый опыт использования муравьиных алгоритмов для решения проблемы выбора оптимальной стратегии, то решение искалось на «пустом» рабочем поле (не учитывались даже стационарные препятствия), а для метода AMCO был подобран один набор параметров без анализа его оптимальности.

Основной целью настоящей работы является расширение (модификация) муравьиного алгоритма для ситуации с произвольными количествами задач и роботов, функционирующих на рабочем поле с естественными преградами, а также анализ влияния настраиваемых параметров AMCO на качество полученного решения.

## 2. Постановка задачи и цели исследования

Рассматривается рабочее поле размером  $N \times M$  узлов, на котором находится  $n$  роботов и  $m$  заданий; координаты роботов —  $(x_i, y_i)$ ,  $i \in [1, n]$ , координаты расположения заданий —  $(x_j^*, y_j^*)$ ,  $j \in [1, m]$ . На поле часть узлов являются барьерами — в них не могут располагаться задание или робот, а следовательно, через них не может быть проложен маршрут робота. В одном узле одновременно может находиться только один робот и/или одно задание. Цель функционирования роботов — выполнение заданий, расположенных на рабочем поле.

Задача проводимого исследования: с учетом заданных характеристик всех объектов и наличия препятствий модифицировать алгоритм поиска оптимального плана распределения задач между имеющимися роботами, отвечающий требованиям многокритериальной оптимальной целевой функции.

## 3. Целевая функция и муравьиный алгоритм

Оптимизация в работе выполняется с использованием следующей построенной целевой функции:

$$\Phi(\bar{z}) = \frac{1}{\eta} \cdot W_{\Sigma}(\bar{z}) + w^T \cdot t_{\max}(\bar{z}) + W^{ST} \cdot N_w(\bar{z}), \quad (1)$$

где  $\eta$  — КПД функционирования роботов;  $w^T$  — удельная энергия, необходимая для функционирования группы поддержки в течение всего времени выполнения операции;  $t_{\max}$  — максимальное время, необходимое для выполнения всех заданий группой роботов;  $W^{ST}$  — энергия, затрачиваемая на размещение (перемещение) одного робота в узел рабочего поля;  $N_w$  — число задействованных роботов;  $W_{\Sigma} = \sum_{i=1, n} (S_i w_i^{FN} + \tau_i w_i^{MV})$  — энергия, потребляемая группой роботов при выполнении заданий, находящихся на рабочем поле;  $S_i$  — расстояние, пройденное  $i$ -м роботом;  $\tau_i$  — время, затраченное  $i$ -м роботом на выполнение группы делегированных ему заданий;  $w_i^{FN}$  — потребление энергии  $i$ -м роботом при выполнении операций;  $w_i^{MV}$  — потребление энергии  $i$ -м роботом при его перемещении.

На базе целевой функции (1) была построена скалярная функция поиска оптимума:

$$J : \min_{z \in Z} (\Phi(\bar{z})).$$

Более подробное описание целевой функции и функции поиска оптимума приводится в работе [10]. В качестве алгоритма поиска решения используется мультиколониальная муравьиная система (AMCO). Для настройки AMCO используются следующие свободные параметры:  $n$  — количество итераций;  $m$  — количество межколониальных групп муравьев;  $\alpha$  — вес концентрации феромона дуг;  $\beta$  — вес эвристической привлекательности дуг;  $\rho$  — коэффициент испарения феромона.

## 4. Модификация работы алгоритма, учитывающего наличие препятствий на рабочем поле

Для реализации функционала подсистемы построения траекторий роботов с учетом статических (преграды на поле) и динамических (другие роботы) препятствий в AMCO был встроен модуль планирования траектории [13, 14], в котором реализован алгоритм планирования траектории с использованием принципа динамического программирования Р. Беллмана [15].

Таблица 1. Параметры роботов и заданий на поле

Роботы										
№	1			2			3			
Координаты	{2, 10}			{5, 10}			{8, 10}			
Скорость $v_i$ , ед.раст./ед.вр.	30			20			25			
Расход на перемещение $w_i^{MV}$ , ед.эн./ ед.раст.	30			40			35			
Расход на функционирование $w_i^{FN}$ , ед.эн./ед.вр.	120			100			110			
Задания										
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Координаты	{5, 8}	{10, 8}	{2, 7}	{1, 6}	{7, 6}	{5, 4}	{9, 4}	{3, 3}	{7, 2}	{1, 1}

Корректность работы алгоритма проверялась в ходе вычислительного эксперимента, проводимого для группы, состоящей из трех роботов, которым было назначено 10 заданий. При этом роботы и задания размещаются на рабочем поле размером  $10 \times 10$  клеток. Исходные параметры для рассматриваемого примера приведены в табл. 1 и 2. Расположение роботов и заданий на поле представлено на рис. 1.

Результат решения с использованием доработанного алгоритма АМСО с учетом препятствий представлен на рис. 2, из которого видно, что траектории роботов проходят по свободным ячейкам и не пересекают препятствия.

На рис. 3 показаны перемещения роботов при тех же исходных параметрах, но с применением другой конфигурации препятствий на поле. Результат демонстрирует, что конфигурация рабочего поля влияет не только на синтезируемые маршруты роботов, но также на перераспределение заданий между ними и на число задействованных роботов.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10		$P_1$			$P_2$			$P_3$		
9										
8					$Z_1$					$Z_2$
7		$Z_3$								
6	$Z_4$						$Z_5$			
5										
4					$Z_6$				$Z_7$	
3			$Z_8$							
2							$Z_9$			
1	$Z_{10}$									

Рис. 1. Расположение роботов и задач на рабочем поле (черными квадратами выделены узлы, являющиеся статическими препятствиями на поле)

Таблица 2. Параметры весовой функции

№	КПД	Удельная энергия, $w^t$ , ед.эн./ед.вр.	Энергия размещения, $W^{ST}$ , ед.эн.
1	0,9	100	5

В результате можно утверждать, что алгоритм с модулем построения траекторий, учитывающий особенности рабочего пространства, является более корректным и позволяет также корректно учитывать предлагаемое распределение задач в группе роботов.

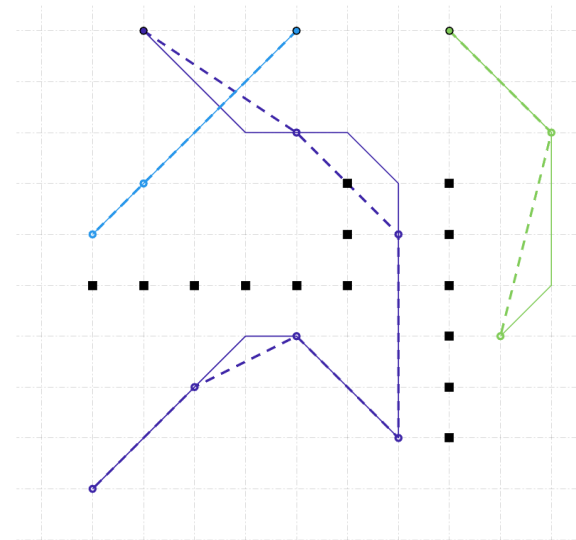


Рис. 2. Результаты расчета квазиоптимальной траектории перемещения роботов с учетом наличия динамических и статических препятствий на поле (квадраты – препятствия, заполненные точки – исходное положение роботов, полые точки – расположение заданий, сплошные линии – траектория движения роботов, пунктирные линии – последовательность обработки заданий)

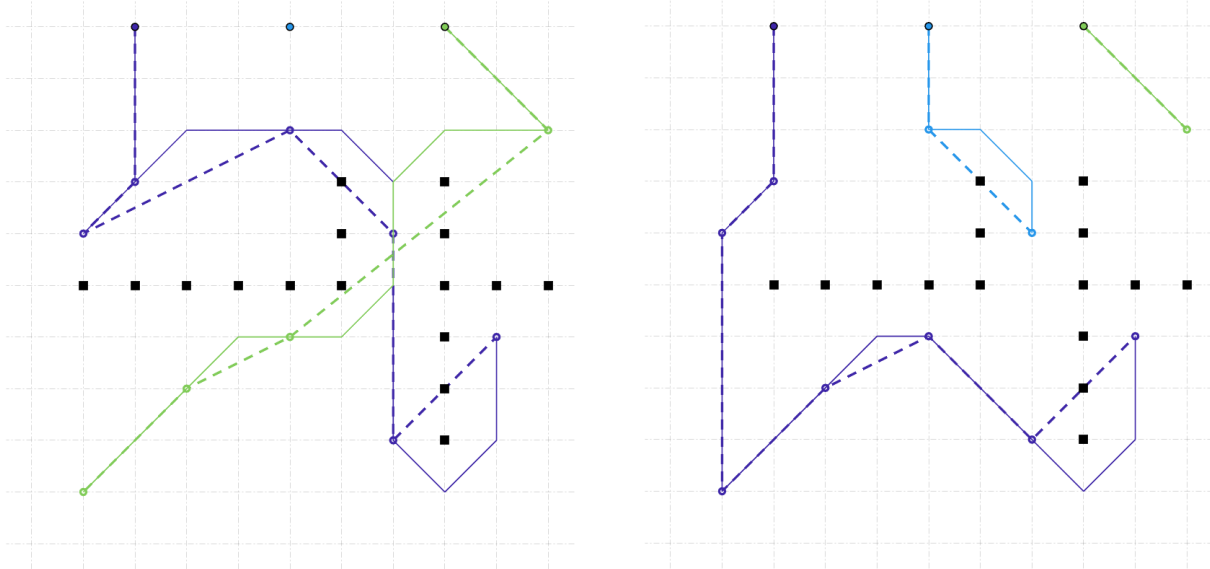


Рис. 3. Перемещение роботов при совпадающих исходных условиях, но при другой конфигурации препятствий

## 5. Метаоптимизация AMCO

Для настройки AMCO используются 5 основных свободных параметров, что является неотъемлемым свойством для любого из метаэвристических методов оптимизации [16]. Для получения необходимого результата настройка этих параметров должна проводиться с учетом типа решаемой задачи. Анализ поставленной проблемы позволил классифицировать процесс настройки как задачу метаоптимизации (М-задачу) параметров роевых алгоритмов [17, 18].

Методы настройки параметров предполагают решение задачи метаоптимизации для некоторого класса оптимизационных задач, поэтому найденные на первом этапе оптимальные стратегии базового алгоритма (Б-алгоритма) фиксируются и затем используются для решения других оптимизационных задач.

Методы решения М-задачи разделяют на две основных группы [19, 20]: методы настройки параметров и методы управления параметрами (табл. 3). При выборе метода настройки параметров основным условием его применения является запрет на изменение стратегии решения базовой задачи (Б-задачи). Поэтому эффективность Б-алгоритма возможно оценить только после завершения процедуры настройки. В случае выбора ме-

тода управления параметрами стратегию решения Б-задачи может меняться в процессе поиска.

Показанные выше методы настройки параметров не требуют доработки самого Б-алгоритма, так как при дальнейшем его использовании пользователь опирается на «оптимальные» параметры всего класса Б-задач. Такой подход позволяет избежать потери вычислительных мощностей на постоянную М-оптимизацию.

С учетом вышеперечисленного было принято решение использовать метод настройки параметров при поиске оптимального результата М-задачи AMCO.

В вычислительных экспериментах проводилась настройка следующих четырех параметров базового алгоритма:  $m$  — количество межколониальных групп муравьев;  $\alpha$  — вес концентрации феромона дуг;  $\beta$  — вес эвристической привлекательности дуг;  $\rho$  — коэффициент испарения феромона.

Параметр  $n$  — количество итераций — исключен из рассмотрения, так как его влияние очевидно: чем больше число итераций, тем лучше результат расчета, при этом растет время работы алгоритма. Ограничение этого параметра задано допустимым временем работы алгоритма (итерация Б-алгоритма — не более 10 с).

Для оценки влияния остальных свободных параметров на эффективность мультиколониально-

Таблица 3. Классификация методов М-оптимизации

Метаоптимизация			
Настройка параметров		Управление параметрами	
Однократная	Перманентная	Адаптация	Самоадаптация

Таблица 4. Типы графов для решения М-задачи

№	Число роботов	Число заданий	Размер поля	Доля препятствий
1	2	8	5×5	0,1
2	5	20	10×10	0,3
3	5	50	10×10	0,1
4	10	50	20×20	0,2
5	10	90	20×20	0,1

Таблица 5. Диапазоны изменения параметров

№	Параметр	min	max	массив
1	$t$	10	90	10, 30, 50, 70
2	$\alpha$	0,5	2,5	0,5, 1,0, 1,5, 2,0, 2,5
3	$\beta$	1	9	1,0, 3,0, 5,0, 7,0, 9,0
4	$\rho$	0	1	0, 0,25, 0,5, 0,75, 1,0

го муравьиного алгоритма была проведена серия вычислительных экспериментов с разными комбинациями значений. Рассмотрены пять графов с различными параметрами (табл. 4).

Заданы диапазоны изменений и «опорные» точки для каждого из четырех свободных параметров (табл. 5). Поэтому для представленных множеств четырех свободных параметров пространство решения М-задачи включает 500 различных комбинаций.

Для всех комбинаций было проведено по 5 вычислительных экспериментов на каждом из 5-и графов (25 точек), в ходе которых оценивались суммарные затраты энергии всего коллектива, необходимые для выполнения поставленных заданий. В качестве оценки эффективности работы АМСО для всех 5-и графов предлагается рассмотреть не абсолютное значение энергии, а ее относительную погрешность (отклонение, превышение), вызванную изменением в работе алгоритма при смене параметров. За «опорное» значение для расчета погрешности выбирается минимальное значение затрат энергии, полученное в 2500 запусках алгоритма.

Далее представлены диаграммы распределения погрешности решения Б-задачи для каждого из параметров (рис. 4). На каждой из диаграмм отображены все полученные в рамках эксперимента значения (12 500 точек).

Проведен анализ полученных результатов, по результатам которого итерационным подходом выполнялся выбор оптимальных параметров свободных параметров АМСО. Очевидно, что наибольшее влияние на точность решения имеет параметр  $\beta$ , значит стабильные решения следует искать при  $\beta > 7$ . Поэтому для следующего шага примем за оптимальное значение  $\beta = 9$ .

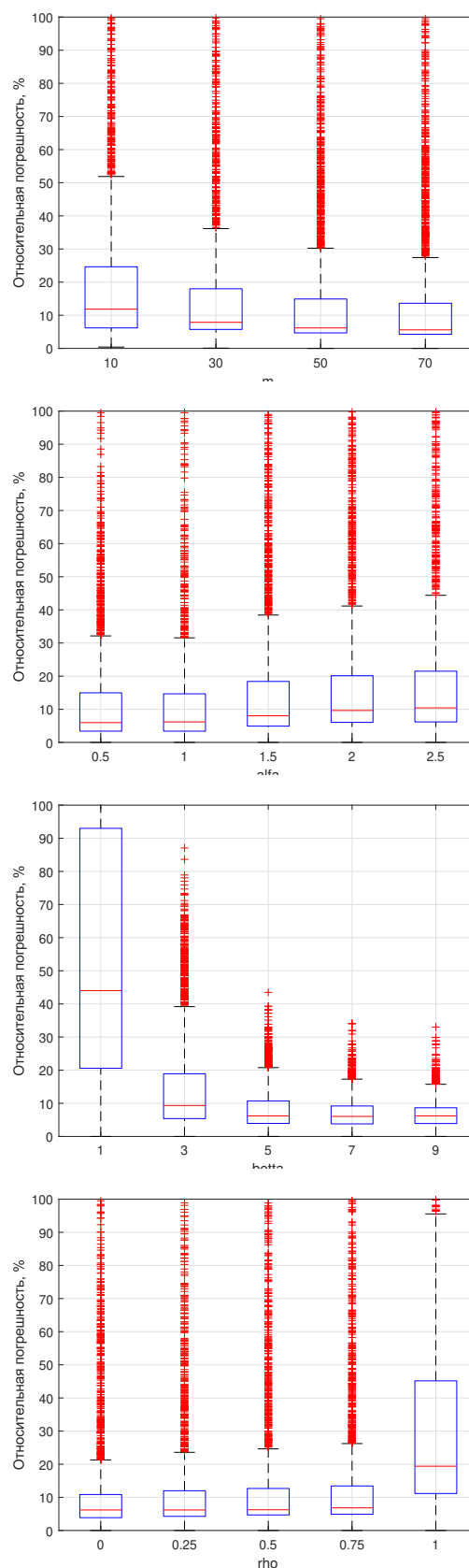


Рис. 4. Распределение относительной ошибки результатов решения Б-задачи для различных значений свободных параметров

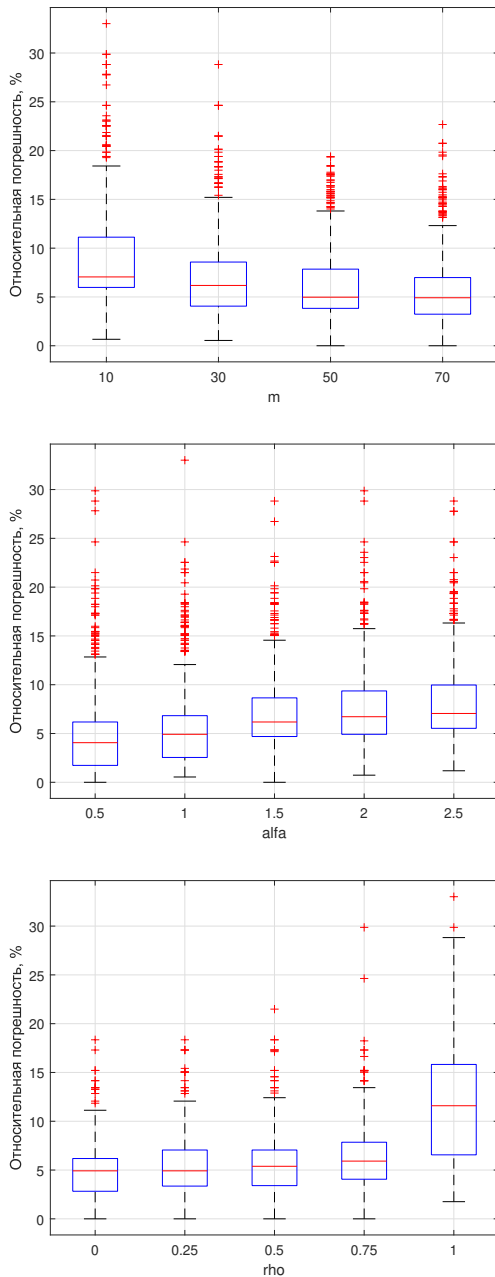


Рис. 5. Распределение относительной ошибки результатов решения Б-задачи при  $\beta = 9$

Построим распределения ошибки для оставшихся трех параметров при известном значении четвертого (рис. 5). Диаграммы также построены по полученным 2500 точкам.

Анализ полученных диаграмм позволил выявить тренд сокращения ошибки при уменьшении параметра  $\alpha$  и возрастании параметра  $m$ . Поэтому на втором этапе итерации зафиксируем параметр  $\alpha$ , приняв за оптимальные значения  $\alpha = 0,5$  и  $\beta = 9$ .

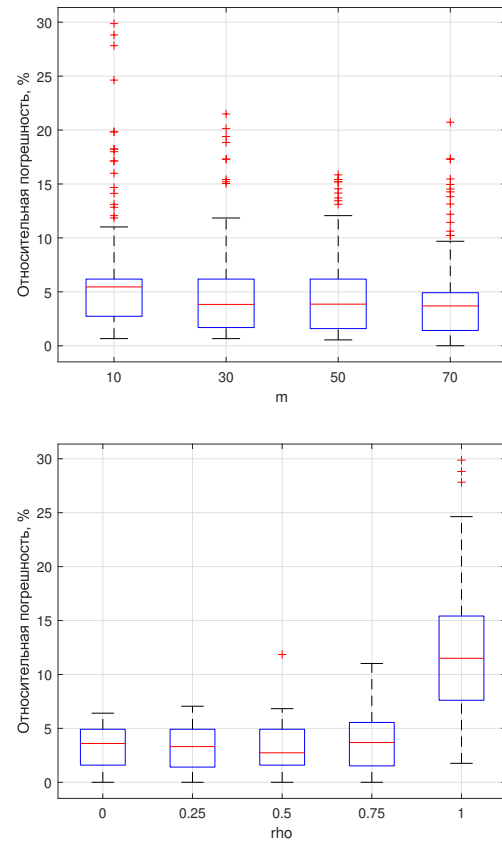


Рис. 6. Распределение относительной ошибки решения Б-задачи при  $\alpha = 0,5$  и  $\beta = 9$

Построим распределения ошибки для оставшихся двух параметров при заданных значениях второго и четвертого (рис. 6), отражающих уже по 500 точек.

Полученные диаграммы показывают, что после фиксации параметра  $\alpha$ , исчез тренд уменьшения ошибки с ростом параметра  $m$ . Так усредненная величина ошибки совпадает для трех значений параметра: 30, 50 и 70 муравьев. При этом исключение двух параметров позволило выявить оптимальное значение параметра  $\rho$ : на диаграмме прослеживается минимум медианного значения ошибки при  $\rho = 0,5$ .

Поэтому на следующем шаге в качестве оптимальных значений принимаем  $\rho = 0,5$ ,  $\alpha = 0,5$  и  $\beta = 9$ .

Оценим влияние оставшегося параметра  $m$  на величину относительной ошибки (рис. 7). Представленная на рисунке диаграмма содержит 100 экспериментальных точек.

Оценивая минимальное медианное значение, а также значения верхнего квартиля, можем выбрать в качестве оптимального значения для количества межколониальных групп муравьев  $m = 30$ .

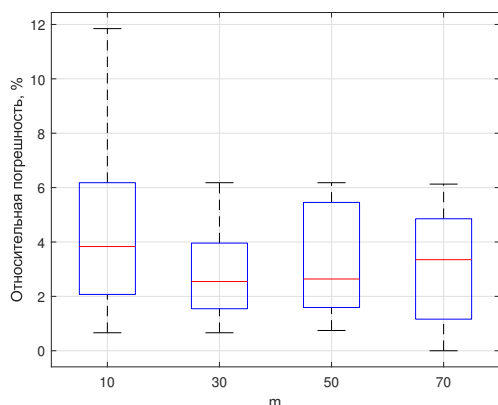


Рис. 7. Распределение относительной ошибки результатов решения Б-задачи для критерия  $m$  при  $\alpha = 0,5$ ,  $\beta = 9$  и  $\rho = 0,5$

Результатом выполнения М-оптимизации методом однократной настройки параметров стало определение следующих значений свободных параметров АМСО:

- количество итераций  $n$  определяется из условия максимального времени расчета 10 секунд;
- количество межколонийных групп муравьев  $m = 30$ ;
- вес концентрации феромона дуг  $\alpha = 0,5$ ;
- вес эвристической привлекательности дуг  $\beta = 9$ ;
- коэффициент испарения феромона  $\rho = 0,5$ .

Использование вышеприведенных значений данных параметров позволило получить среднюю величину отклонений при поиске оптимальной стратегии перемещения группы роботов на поле с препятствиями не более 3 %, при максимальном ее значении — 6 %.

## 6. Заключение

В настоящей статье показан один из вариантов решения для задачи поиска оптимальной стратегии управления произвольной группой мобильных роботов, сложность которой напрямую зависит от наличия статических препятствий, динамических препятствий в виде других роботов, присутствующих в рабочем пространстве. Произвольное число поставленных заданий, а также комплексная

оценка оптимальности (нескольких критериев эффективности) потребовали использования специфических приемов и методов модификации ранее полученного решения с использованием муравьиного алгоритма. Процедура внесения изменений в алгоритм была реализована в два этапа.

На первом этапе при синтезе траекторий группы роботов за счет внедрения в алгоритм АМСО нового модуля, производящего расчет взаимного перемещения роботов с использованием принципа динамического программирования, адекватно учитывались стационарные (преграды, стены) и динамические (другие роботы группы) препятствия.

Второй этап заключался в решении метаоптимизационной задачи выбора свободных параметров АМСО методом однократной настройки параметров, что в итоге позволило уменьшить относительную погрешность при синтезе оптимальных маршрутов для группы роботов и сократить суммарные энергетические затраты.

## Список литературы

- [1] Булгаков А.Г., Торстен Б., Горчаков В.В., Касаткин А.В. Разработка мобильного робота для технологических процессов в строительстве // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2011. № 6(164). С. 20–25. [eLIBRARY ID: 17280557](#)
- [2] Гречушкин И.В., Савин В.И. Применение наземных робототехнических комплексов для проведения погрузочно-разгрузочных и транспортно-складских работ // Научные проблемы материально-технического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации. 2019. № 3(13). С. 103–116. [eLIBRARY ID: 41149529](#)
- [3] Иванов Д.Я. Распределение ролей в коалициях роботов при ограниченных коммуникациях на основе роевого взаимодействия // Управление большими системами: сборник трудов. 2019. № 78. С. 23–45. [eLIBRARY ID: 37652243](#)
- [4] Политов Е.Н., Березина Л.В., Щербакова М.П. Робототехнические комплексы военного назначения: современное состояние и перспективы развития в Российской Федерации // Молодежь и наука: шаг к успеху : сборник научных статей 3-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок молодых ученых : в 5 т., Курск, 21–22 марта 2019 года. Том 5. Курск: Закрытое акционерное общество «Университетская книга». 2019. С. 102–104. [eLIBRARY ID: 37265522](#)
- [5] Батанов А.Ф., Мингалеев С.Г., Очкин И.В. Робототехнические комплексы в аэромобильных группировках МЧС России // Технологии гражданской безопасности. 2019. Т. 16, № 2(60). С. 60–69. [eLIBRARY ID: 38504570](#)
- [6] Marino A., Parker L.E., Antonelli G., Caccavale F. A decentralized architecture for multi-robot systems based on the null-space-behavioral control with application to multi-robot border patrolling // J. Intell. Robot. Syst. 2013. V. 71. P. 423–444. [DOI: 10.1007/s10846-012-9783-5](#)
- [7] Аппельганц А.В., Пятакова О.И., Соловьев А.А. Групповое управление роботами военного назначения // Повышение качества образования, современные инновации в науке и производстве. 2019. С. 562–568.



- [8] Darintsev O.V., Migranov A.B. Using the Hopfield Neural Network to Select a Behaviour Strategy for the Group of Mobile Robots // *J. Phys.: Conf. Ser.* 2021. V. 2096. 012086. DOI: [10.1088/1742-6596/2096/1/012086](https://doi.org/10.1088/1742-6596/2096/1/012086)
- [9] Darintsev O., Migranov A. Task Distribution Module for a Team of Robots Based on Genetic Algorithms: Synthesis Methodology and Testing // 2019 XXI International Conference Complex Systems: Control and Modeling Problems (CSCMP), Samara, Russia. 2019.
- [10] Darintsev O.V., Migranov A.B. Multi-criteria Optimization of the Mobile Robot Group Strategy Using the Ant Algorithm. In: Ronzhin A., Shishlakov V. (eds) *Electromechanics and Robotics. Smart Innovation, Systems and Technologies. V. 232*. Springer, Singapore. 2022. DOI: [10.1007/978-981-16-2814-6\\_9](https://doi.org/10.1007/978-981-16-2814-6_9)
- [11] Li X., Liu Z., Tan F. Multi-Robot Task Allocation Based on Cloud Ant Colony Algorithm // *ICONIP 2017. Lecture Notes in Computer Science*. 2017. Vol. 10637. Pp. 3–10. DOI: [10.1007/978-3-319-70093-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-70093-9_1)
- [12] Кубил В.Н. Исследование и разработка методов решения многокритериальных задач маршрутизации транспорта на основе муравьиного алгоритма: Дис. ...канд. техн. наук: 05.13.01 / В.Н. Кубил. Новочеркасск. 2019. 184 с.
- [13] Карпухин В.Б. Математическая модель управления процессом поиска оптимального маршрута в транспортной сети // *Инновационные технологии в науке, транспорте и образовании: Сборник статей международной научно-методической интернет-конференции, Москва, 19–20 июня 2018 года*. Москва: Российский университет транспорта (МИИТ). 2018. С. 296–308. eLIBRARY ID: [36962584](https://elibrary.ru/36962584)
- [14] Ченцов А.А., Ченцов А.Г. О реализации метода динамического программирования в обобщенной задаче курьера // *Труды Института математики и механики УрО РАН*. 2007. Т. 13, № 3. С. 136–160. eLIBRARY ID: [12040792](https://elibrary.ru/12040792)
- [15] Беллман Р. *Динамическое программирование*. М.: ИЛ. 1960.
- [16] Зайцев А.А., Курейчик В.В., Полупанов А.А. Обзор эволюционных методов оптимизации на основе роевого интеллекта // *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2010. № 12(113). С. 7–12. eLIBRARY ID: [15553703](https://elibrary.ru/15553703)
- [17] Карпенко А.П., Свианадзе З.О. Метод мета-оптимизации поисковых алгоритмов оптимизации // *Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана*. 2011. № 1. С. 3. eLIBRARY ID: [15575356](https://elibrary.ru/15575356)
- [18] Карпенко А.П. Методы повышения эффективности популяционных алгоритмов глобальной оптимизации // *Перспективные направления развития отечественных информационных технологий. материалы V межрегиональной научно-практической конференции*. Севастопольский государственный университет; Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН. Севастополь. 2019. С. 87–88. eLIBRARY ID: [42944531](https://elibrary.ru/42944531)
- [19] Агасиев Т.А., Карпенко А.П. Мета-оптимизация алгоритмов глобальной параметрической оптимизации // *Системы компьютерной математики и их приложения*. 2019. № 20–1. С. 8–16. eLIBRARY ID: [39103145](https://elibrary.ru/39103145)
- [20] Bremermann H.J. Optimization through evolution and recombination // *Yovits M.C., Jacobi G.T. and Goldstein G.D. (Eds.), Self-Organizing Systems*. 1962. Pp. 93–106.



## Using an ant algorithm to find a strategy for the behavior of a group of mobile robots on a work field with obstacles

Darintsev O.V., Migranov A.B.

Mavlyutov Institute of Mechanics of UFRC RAS, Ufa, Russia

A more complex solution to the problem of the distribution of tasks in a group of mobile robots, in the presence of obstacles in the workspace, is considered. The work is a continuation of a cycle of research in which the basic algorithm for solving the tasks was one of the types of ant algorithm – the multicolonial ant system method in combination with the trajectory planning algorithm implemented using the principle of dynamic programming. The task statement, the workspace model, the goals of the robots functioning and the parameters characterizing their work have been adjusted. The choice of free parameters of the ant algorithm for performing multi-criteria optimization and tuning of the solution is carried out: the number of iterations, the number of intercolonial groups of ants, the weight of the concentration of the pheromone of arcs, the weight of the heuristic attractiveness of arcs and the pheromone evaporation coefficient. The results of computational experiments conducted in the presence of static (known in advance) and dynamic (other robots) obstacles in the workspace are presented. The proposed algorithm was tested using the example of a group consisting of three robots performing 10 tasks. As shown in the results of computational experiments, robot trajectories are built on a subset of free cells of the workspace and do not intersect cells with obstacles. At the same time, the configuration of the work field affects not only the actual routes of robots, but also the redistribution of tasks between them, and the number of robots involved. Additionally, a series of computational experiments with different combinations of values of free parameters was carried out to determine the optimal ratios and implement a more efficient ant algorithm. Optimization was carried out by a single adjustment method, which allowed us to find the required values of free parameters. It is shown that the adjustment of the parameters made it possible to reduce the relative error in the synthesis of the optimal route of movement of a group of robots by 3–6 %.

**Keywords:** group of robots, ant algorithm, distribution of tasks, trajectory planning

### References

- [1] Bulgakov A.G., Torsten B., Gorchakov V.V., Kasatkin A.V. Razrabotka mobil'nogo robota dlya tekhnologicheskikh processov v stroitel'stve // Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskij region. Seriya: Tekhnicheskie nauki. 2011. № 6(164). Pp. 20–25 (In Russian).  
[eLIBRARY ID: 17280557](#)
- [2] Grechushkin I.V., Savin V.I. Primenenie nazemnykh robototekhnicheskikh kompleksov dlya provedeniya pogruzochno-razgruzochnykh i transportno-skladskikh rabot // Nauchnye problemy material'no-tekhnicheskogo obespecheniya Vooruzhennykh Sil Rossijskoj Federacii. 2019. № 3(13). Pp. 103–116 (In Russian).  
[eLIBRARY ID: 41149529](#)
- [3] Ivanov D.YA. Raspredelenie rolej v koalitsiyah robotov pri ogranichennykh kommunikatsiyah na osnove roevogo vzaimod-ejstviya // Upravlenie bol'shimi sistemami: sbornik trudov. 2019. № 78. Pp. 23–45 (In Russian).  
[eLIBRARY ID: 37652243](#)
- [4] Politov E.N., Berezina L.V., SHCHerbakova M.P. Robototekhnicheskije komplekxy voennogo naznacheniya: sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya v Rossijskoj Federacii // Molodezh' i nauka: shag k uspekhу: sbornik nauchnykh statej 3-j Vserossijskoj nauchnoj konferencii perspektivnykh razrabotok molodykh uchenykh: v 5 t., Kursk, 21–22 marta 2019 goda. Tom 5. Kursk: Zakrytoe akcionerное obshchestvo «Universitetskaya kniga». 2019. Pp. 102–104 (In Russian).  
[eLIBRARY ID: 37265522](#)
- [5] Batanov A.F., Mingaleev S.G., Ochkin I.V. Robototekhnicheskije komplekxy v aeromobil'nykh gruppirovkah MCHS Rossii // Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti. 2019. T. 16, № 2(60). Pp. 60–69 (In Russian).  
[eLIBRARY ID: 38504570](#)
- [6] Marino A., Parker L.E., Antonelli G., Caccavale F. A decentralized architecture for multi-robot systems based on the null-space-behavioral control with application to multi-robot border patrolling // J. Intell. Robot. Syst. 2013. V. 71. Pp. 423–444.  
[DOI: 10.1007/s10846-012-9783-5](#)

- [7] Appel'ganc A.V., Pyatakova O.I., Solov'ev A.A. Gruppovoe upravlenie robotami voennogo naznacheniya // Povyshenie kachestva obrazovaniya, sovremennye innovacii v nauke i proizvodstve. 2019. Pp. 562–568 (In Russian).
- [8] Darintsev O.V., Migranov A.B. Using the Hopfield Neural Network to Select a Behaviour Strategy for the Group of Mobile Robots // J. Phys.: Conf. Ser. 2021. V. 2096. 012086.  
[DOI: 10.1088/1742-6596/2096/1/012086](https://doi.org/10.1088/1742-6596/2096/1/012086)
- [9] Darintsev O., Migranov A. Task Distribution Module for a Team of Robots Based on Genetic Algorithms: Synthesis Methodology and Testing // 2019 XXI International Conference Complex Systems: Control and Modeling Problems (CSCMP), Samara, Russia. 2019.
- [10] Darintsev O.V., Migranov A.B. Multi-criteria Optimization of the Mobile Robot Group Strategy Using the Ant Algorithm. In: Ronzhin A., Shishlakov V. (eds) Electromechanics and Robotics. Smart Innovation, Systems and Technologies. V. 232. Springer, Singapore. 2022.  
[DOI: 10.1007/978-981-16-2814-6\\_9](https://doi.org/10.1007/978-981-16-2814-6_9)
- [11] Li X., Liu Z., Tan F. Multi-Robot Task Allocation Based on Cloud Ant Colony Algorithm // ICONIP 2017. Lecture Notes in Computer Science. 2017. Vol 10637. Pp. 3–10.  
[DOI: 10.1007/978-3-319-70093-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-70093-9_1)
- [12] Kubil V.N. Issledovanie i razrabotka metodov resheniya mnogokriterial'nyh zadach marshrutizacii transporta na osnove murav'inogo algoritma: Dis. ...kand. tekhn. nauk: 05.13.01 / V.N. Kubil. Novocherkassk. 2019. 184 p. (In Russian).
- [13] Karpuhin V.B. Matematicheskaya model' upravleniya procesom poiska optimal'nogo marshruta v transportnoj seti // Innovacionnye tekhnologii v nauke, transporte i obrazovanii: Cbornik statej mezhdunarodnoj nauchno-metodicheskoy internet-konferencii, Moskva, 19–20 iyunya 2018 goda. Moskva: Rossijskij universitet transporta (MIIT). 2018. Pp. 296–308 (In Russian).  
[eLIBRARY ID: 36962584](https://doi.org/10.26907/2542-0412.2018.296-308)
- [14] Chencov A.A., Chencov A.G. O realizacii metoda dinamicheskogo programmirovaniya v obobshchennoj zadache kur'era // Trudy Instituta matematiki i mekhaniki UrO RAN. 2007. T. 13, № 3. Pp. 136–160 (In Russian).  
[eLIBRARY ID: 12040792](https://doi.org/10.26907/2542-0412.2007.13.3.136-160)
- [15] Bellman R. Dinamicheskoe programmirovaniye. M.: IL. 1960 (In Russian).
- [16] Zajcev A.A., Kurejchik V.V., Polupanov A.A. Obzor evolyucionnyh metodov optimizacii na osnove roevogo intellekta // Izvestiya YUFU. Tekhnicheskie nauki. 2010. № 12(113). Pp. 7–12 (In Russian).  
[eLIBRARY ID: 15553703](https://doi.org/10.26907/2542-0412.2010.12.7-12)
- [17] Karpenko A.P., Sviaadze Z.O. Metod meta-optimizacii poiskovyh algoritmov optimizacii // Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie MGTU im. N.E. Bauman. 2011. № 1. P. 3 (In Russian).  
[eLIBRARY ID: 15575356](https://doi.org/10.26907/2542-0412.2011.1.3)
- [18] Karpenko A.P. Metody povysheniya effektivnosti populacionnyh algoritmov global'noj optimizacii // Perspektivnye napravleniya razvitiya otechestvennyh informacionnyh tekhnologij. materialy V mezhhregional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii. Sevastopol'skij gosudarstvennyj universitet; Sankt-Peterburgskij institut informatiki i avtomatizacii RAN. Sevastopol'. 2019. Pp. 87–88 (In Russian).  
[eLIBRARY ID: 42944531](https://doi.org/10.26907/2542-0412.2019.87-88)
- [19] Agasiev T.A., Karpenko A.P. Meta-optimizaciya algoritmov global'noj parametricheskoy optimizacii // Sistemy komp'yuternoj matematiki i ih prilozheniya. 2019. № 20–1. Pp. 8–16 (In Russian).  
[eLIBRARY ID: 39103145](https://doi.org/10.26907/2542-0412.2019.20-1.8-16)
- [20] Bremermann H.J. Optimization through evolution and recombination // Yovits M.C., Jacobi G.T. and Goldstein G.D. (Eds.), Self-Organizing Systems. 1962. Pp. 93–106.