

УДК 004.056

DOI: [10.26102/2310-6018/2022.36.1.026](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2022.36.1.026)

## Алгоритм сетецентрического управления движением группы мобильных роботов

С.А.К. Диане, А.Ю. Исхаков✉, А.О. Исхакова

*Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук,  
Москва, Российская Федерация  
[iskhakovandrey@gmail.com](mailto:iskhakovandrey@gmail.com)✉*

**Резюме.** При решении разведывательных, а также тактических задач высокую эффективность показывают методы группового применения мобильных роботов. Робототехнические группы, в основе управления, которыми лежит сетецентрическая система, отличаются превосходством систем разведки перед системами разведки противника, включая достоверность, своевременность и точность добытой информации. При этом в процессе реализации таких защищенных систем приоритетной задачей становится планирование траектории группы, обеспечивающее поддержание связи для выполнения передачи управляющих сигналов. В работе предлагается научный подход к решению задачи планирования движения мобильных роботов в условиях обеспечения механизмов защищенного взаимодействия между агентами робототехнической системы с помощью стеганографических методов для сокрытия управляющих сигналов. Ранее авторским коллективом были разработаны и апробированы методы и алгоритмы, а также программные решения для сокрытия управляющих сигналов и фактов их передачи в рамках процесса интеллектуального взаимодействия группы робототехнических комплексов при решении ими единой задачи, а также верификации агентов по динамическому кортежу идентификационных признаков. В рамках текущего исследования предлагается обеспечение для планирования траектории гетерогенной мультиагентной робототехнической системы с условием поддержания связи для выполнения передачи управляющих сигналов.

**Ключевые слова:** информационная безопасность, управление в робототехнических системах, защита каналов связи, мультиагентная робототехническая система, сетецентрическое управление.

**Благодарности:** Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке проекта РФФИ №19-29-06044.

**Для цитирования:** Диане С.А.К., Исхаков А.Ю., Исхакова А.О. Алгоритм сетецентрического управления движением группы мобильных роботов. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2022;10(1). Доступно по: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1146>  
DOI: 10.26102/2310-6018/2022.36.1.026

## Network-centric motion control algorithm for a group of mobile robots

S.A.K. Diane, A.Y. Iskhakov, A.O. Iskhakova✉

*V. A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences,  
Moscow, Russian Federation  
[iskhakovandrey@gmail.com](mailto:iskhakovandrey@gmail.com)✉*

**Abstract:** When solving reconnaissance and tactical tasks, methods of mobile robots group application show high efficiency. Robotic groups, based on the network-centric system of control, are characterized

by the superiority of intelligence systems over enemy intelligence systems, including the reliability, timeliness and accuracy of the extracted information. At the same time, planning the group trajectory that facilitates communications maintenance with the aim of transmitting control signals becomes a priority in the implementation of such secure systems. The paper proposes a scientific approach to handling the task of mobile robots motion planning under the conditions of providing mechanisms for secure interaction between the agents of a robotic system, using steganographic methods to hide control signals. Previously, the authors developed and tested methods and algorithms as well as software solutions for concealing control signals and the facts of their transmission within the process of intellectual interaction of a robotic systems group when they address a common problem, as well as verification of agents by a dynamic tuple of identification attributes. In the ongoing study, we put forward the software for trajectory planning of a heterogeneous multi-agent robotic system on the condition of maintaining communications to perform the transfer of control signals.

**Keywords:** information security, control systems in robotic devices, communications security, multi-agent robotic system, network-centric control.

**Acknowledgments:** The reported study was partially funded by RFBR, project number 19-29-06044.

**For citation:** Diane S.A.K., Iskhakov A.Y., Iskhakova A.O. Network-centric motion control algorithm for a group of mobile robots. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2022;10(1).

Available from: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1146> DOI: 10.26102/2310-6018/2022.36.1.026 (In Russ.).

## Введение

Робототехнические комплексы сегодня находят применение в различных сферах человеческой деятельности. Функциональные возможности роботов стремительно развиваются, а эффективность их применения увеличивается. Мультиагентные робототехнические системы (МАРС) активно разрабатываются и широко исследуются в отечественной и мировой научной среде [1-3]. Известно множество научных исследований [4-6], направленных на увеличение эффективности мобильных робототехнических группировок, способных взаимодействовать друг с другом при выполнении сложных миссий, в том числе при решении исследовательских, разведывательных, а также тактических боевых задач. Так, в работах [7, 8] полагается, что создание смешанных группировок, включающих в свой состав роботов, функционирующих в различных средах (в воздушном, наземном, надводном и подводном пространстве), позволит значительно повысить эффективность выполнения поставленных задач.

В то же время гетерогенность МАРС может проявляться и на уровне отдельных группировок роботов, действующих в пределах общей среды. Разделение роботов на различные категории может проводиться путем сравнения их функциональных возможностей. Так, для задач разведки местности целесообразным является выделение подмножества роботов-разведчиков и роботов-связистов.

Целью работы является повышение эффективности формирования защищенных механизмов межмашинного обмена при их коммуникации вне зоны контролируемой территории. Основной задачей исследования является создание методического и программного обеспечения для планирования траектории гетерогенной МАРС и защищенной передачи управляющих сигналов.

## Материалы и методы

Формализованную постановку рассматриваемой задачи можно представить в следующем виде. Для группы роботов  $R = \{r_1, \dots, r_N\}$ , расположенных в координатах  $P_0 = \{p_{0r_1}, \dots, p_{0r_N}\}$  определить маршруты движения  $T = \{t_1, \dots, t_N\}$ , реализующие обход

целевых точек местности  $P = \{p_1, \dots, p_M\}$  и обеспечивающих максимизацию функционала  $F(t_1, \dots, t_N)$ .

В общем случае функционал  $F$  должен учитывать требование минимизации суммарной длины пути, проходимого роботами, соблюдение условий непрерывности групповой беспроводной сетевой связи, а также обеспечение сокрытия управляющих сигналов. Иными словами, отбору подлежат те групповые решения, которые приводят к скорейшему выполнению поставленной задачи с минимальной ретрансляцией радиосигналов между роботами. Следует также отметить, что в ряде прикладных задач функционал пригодности может учитывать и безопасность маршрутов в плане уклонения от расположенных на местности препятствий.

Особенностью исследуемой сетевидной задачи является гетерогенность робототехнической группировки, выраженная тем фактом, что некоторые мобильные роботы выступают исключительно в роли агентов исполнителей, а некоторые роботы совмещают выполнение задач по обходу целевых точек с функцией ретрансляции сообщений в динамически конфигурируемой беспроводной информационной сети.

Так, на Рисунке 1 представлено множество целевых точек, подлежащих осмотру группой мобильных роботов. Роботы в позициях 1 и 3 выступают в роли исполнителей. Робот в позиции 2 выступает одновременно в роли исполнителя и ретранслятора радиосигнала.

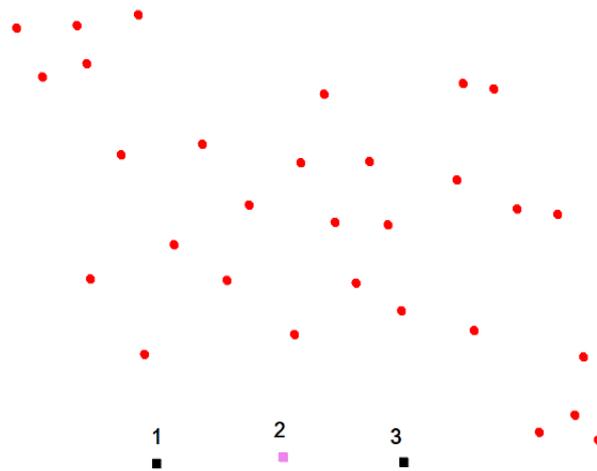


Рисунок 1 – Пример мультиагентной задачи коммивояжера для гетерогенной робототехнической группировки  
 Figure 1 – An example of a multi-agent ‘travelling salesman’ problem for a heterogeneous robotic group

Решение данной задачи возможно с привлечением комбинаторных методов и сводится к поиску множества маршрутов, удовлетворяющих некоторому обобщенному критерию, задаваемому экспертом. На Рисунке 2 представлен вариант планирования маршрутов для данных трех роботов, а также динамика их перемещения на небольшом отрезке времени. Изначально все роботы попадают в зону действия приемо-передающих устройств смежных агентов (Рисунок 2а). Но после небольшого перемещения роботы 1 и 2 удаляются друг от друга на расстояние, превышающее радиус связи  $R$  (Рисунок 2б).

Матрица достижимости  $C(i, j)$  ориентированного графа  $G$  хранит информацию о существовании путей между его вершинами и позволяет оценить непрерывность групповой беспроводной сетевой связи. Матрица расстояний  $D(i, j)$  ориентированного

графа  $G$  хранит информацию о длине путей между его вершинами. Причем с точки зрения оценки степени сокрытия передаваемых сигналов важна оценка расстояния в терминах количества ретрансляций между агентами сети. Маршрут роботов, показанный на Рисунке 2б, приводит к изменению данных матриц (Таблица 1).

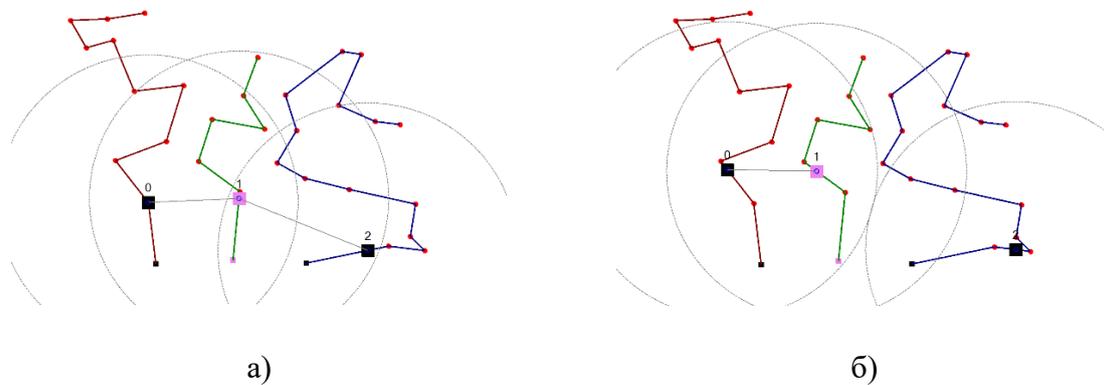


Рисунок 2 – Планирование маршрутов трех мобильных роботов: а) ситуация связности информационной сети; б) ситуация разрыва связности информационной сети  
Figure 2 – Route planning for three mobile robots: a) situation of information network connectivity; b) situation of information network connectivity discontinuity

Маршрут роботов, показанный на Рисунке 2б, приводит к изменению данных матриц (Таблица 1).

Таблица 1 – Матрицы достижимости и матрицы связности группы роботов  
Table 1 – Reachability matrices and connectivity matrices of a robotic group

Положение роботов	Ситуация связности информационной сети (Рисунок 2а)	Ситуация разрыва связности информационной сети (Рисунок 2б)
Матрица достижимости $C$	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$
Матрица расстояний $D$	$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 1 & 0 & 1 \\ 2 & 1 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & 1 & \\ 1 & 0 & \\ & & 0 \end{pmatrix}$

При разрыве связи степень сокрытия передачи разнородной сенсорной и командной информации повышается ввиду приостановки информационного обмена между некоторыми из роботов. Формула расчета оценки непрерывности передачи информации по матрице достижимости:

$$F_1(t) = \frac{\sum_{i,j} C(i, j)}{nm}. \quad (1)$$

Формула расчета степени сокрытия передаваемой информации по матрице расстояний:

$$F_2(t) = 1 / (1 + \sum_{i,j:D(i,j)<\infty} D(i, j)). \quad (2)$$

Наряду с сетевыми аспектами организации управления группой роботов сложность решения, поставленной задачи обхода целевых точек определяется также с учетом общего расстояния, проходимого роботами:

$$F_3 = L^* / \sum_{i=1}^N (a_i + \sum_{j=1}^{M_j} l_j), \quad (3)$$

где  $a_i$  – расстояние от  $i$ -го агента до первой точки соответствующей траектории,  $N$  – количество роботов,  $M_j$ – число точек маршрута робота  $j$ ,  $l_j$  – длина  $j$ -го отрезка маршрута,  $L^*$  – характеристическая длина маршрута.

Величина  $L^*$  определяется по формуле:

$$L^* = N \cdot \max_i |p_i - c_i|, \quad (4)$$

где  $p_i$  – точка из объединенного множества целей и начальных координат роботов  $P$ ,  $c_i$  – геометрический центр множества  $P$ .

Многокритериальность оценки процесса исследования местности группой роботов с учетом пространственных и информационных ограничений приводит к выбору функции пригодности в виде взвешенной суммы трех слагаемых:

$$F = k_1 \sum_{t=1}^T F_1(t) + k_2 \sum_{t=1}^T F_2(t) + k_3 F_3, \quad (5)$$

где  $T$  – число временных интервалов при имитационном моделировании процесса движения мобильных роботов.

Решение описанной выше оптимизационной задачи по поиску маршрутов, максимизирующих функционал  $F$ , можно выполнить с привлечением методов эволюционного программирования.

## Результаты

В рамках эволюционного подхода задача формализуется таким образом, чтобы ее решение могло быть закодировано в виде вектора генов. В реализациях генетического алгоритма предполагается, что генотип имеет фиксированную длину. Однако существуют вариации генетического алгоритма, свободные от этого ограничения.

Создается множество генотипов начальной популяции. Они оцениваются с использованием функции приспособленности, в результате чего с каждым генотипом ассоциируется определенное значение, которое определяет, насколько хорошо фенотип, им описываемый, решает поставленную задачу. Из полученного множества решений с учетом значения приспособленности выбираются решения, к которым применяются генетические операторы, результатом чего является получение новых решений. Для них также вычисляется значение приспособленности, и затем производится отбор лучших решений в следующее поколение.

Этот набор действий повторяется итеративно, так моделируется эволюционный процесс, продолжающийся на протяжении нескольких поколений, пока не будет выполнен критерий остановки алгоритма (Рисунок 3) [6, 8].



Рисунок 3 – Обобщенная схема эволюционного алгоритма  
Figure 3 – Generalized scheme of the evolutionary algorithm

В процессе поиска опорных траекторий мобильные роботы рассматриваются как материальные точки. Особью эволюционного алгоритма в данном случае является множество траекторий, для каждого из агентов, входящих в состав МАРС. Мутация осуществляется как случайная перестановка порядковых номеров опорных точек в траекториях некоторых агентов. Скрещивание осуществляется как обмен случайными участками траекторий между разными решениями-особями эволюционного алгоритма (Рисунок 4). Оценка пригодности особей в популяции генетического алгоритма учитывает суммарную длину пути, проходимость роботами, условия непрерывности и скрытности радиосвязи.

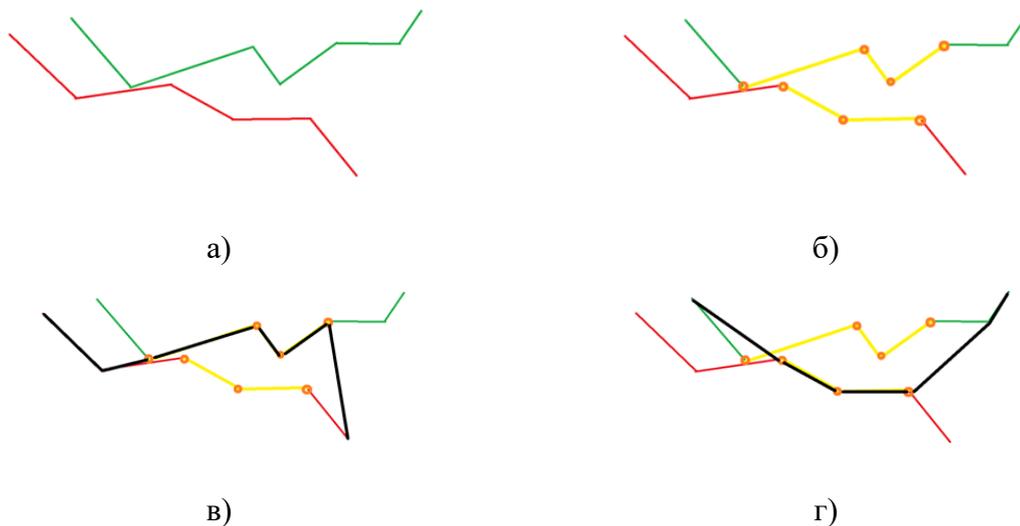


Рисунок 4 – Иллюстрация процесса скрещивания: а) исходные маршруты; б) выбор участков для обмена; в) формирование первой особи; г) формирование второй особи  
Figure 4 – Illustration of the crossover process: a) initial routes; b) selection of route sections for exchange; c) formation of the first offspring; d) formation of the second offspring

Предложенные модели и алгоритмы были реализованы в рамках программного комплекса «Multiagent TSP» для решения задач группового планирования маршрутов движения мобильных роботов (Рисунок 5).

Функционал программного комплекса включает:

1. задание роботов и целевых точек на рабочем пространстве;
2. сохранение и загрузку сформированных сцен;
3. инициализацию генетического алгоритма с требуемыми параметрами;
4. пошаговое выполнение процедуры эволюционного поиска;
5. отображение графика функции пригодности наилучшего решения;
6. отображение значений критериев  $F_1, F_2, F_3$ .

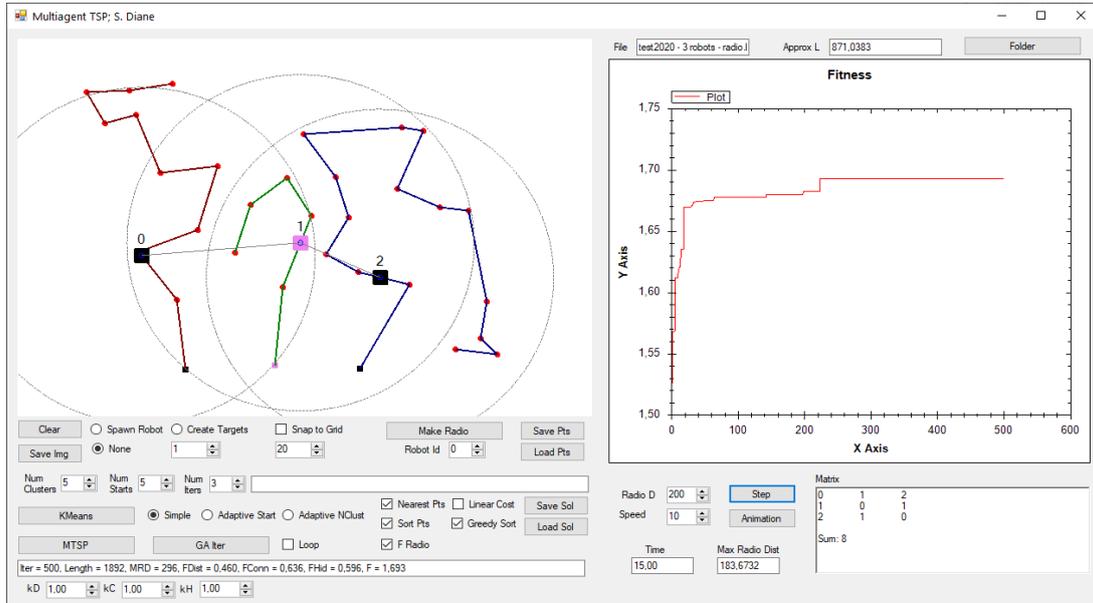


Рисунок 5 – Фрагмент моделирования передвижения мобильных роботов согласно найденным маршрутам при  $k_1 = 1, k_2 = 1, k_3 = 1$   
 Figure 5 – A fragment of mobile robot movement simulation according to the obtained routes ( $k_1 = 1, k_2 = 1, k_3 = 1$ )

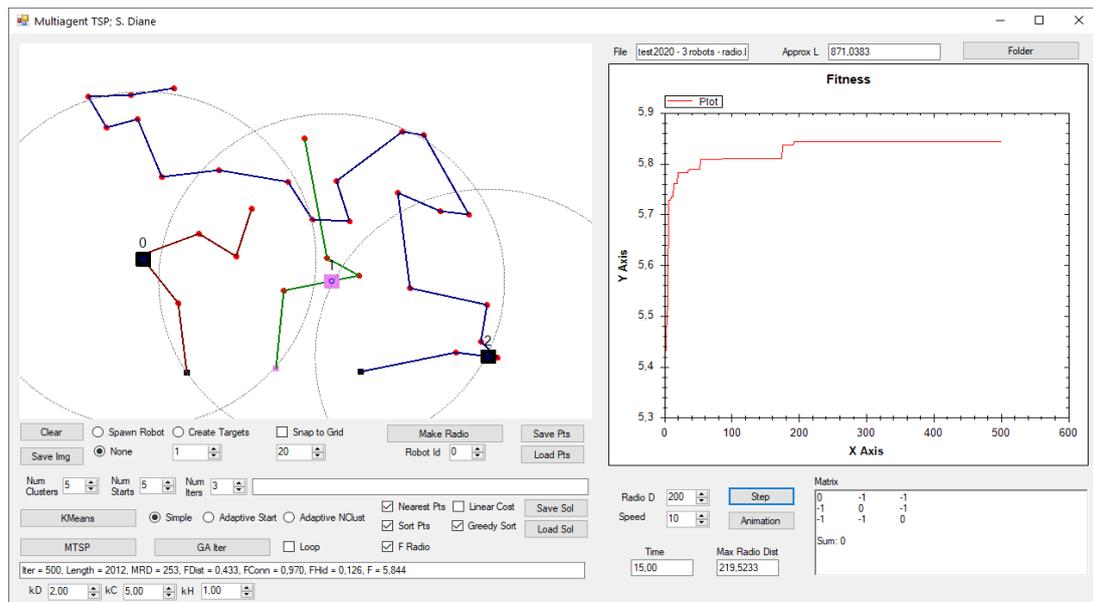


Рисунок 6 – Фрагмент моделирования передвижения мобильных роботов согласно найденным маршрутам при  $k_1 = 2, k_2 = 5, k_3 = 1$   
 Figure 6 – A fragment of mobile robot movement simulation according to the obtained routes ( $k_1 = 2, k_2 = 5, k_3 = 1$ )

Цель экспериментальных исследований состояла в проверке гипотезы о влиянии весовых коэффициентов  $K = \{k_1, k_2, k_3\}$  в формуле (5) на характеристики групповых маршрутов, формируемых генетическим алгоритмом.

Выбранный размер популяции генетического алгоритма – 1000 особей, длительность поиска решений – 500 итераций.

На Рисунках 6, 7 и в Таблице 2 представлены результаты планирования групповых маршрутов при различной степени влияния коэффициента, отвечающего за непрерывность информационного обмена.

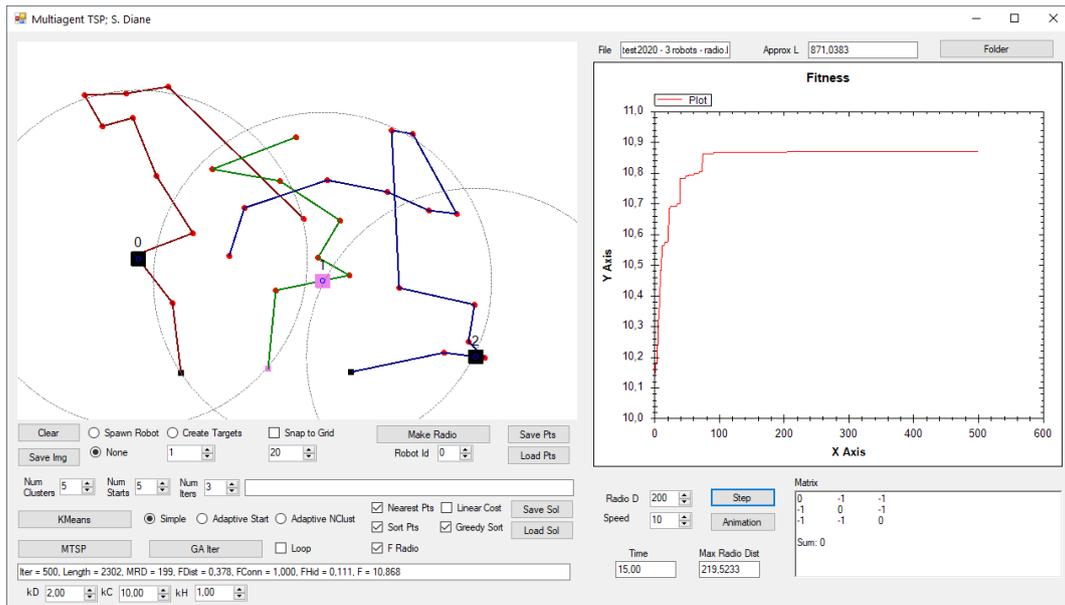


Рисунок 7 – Фрагмент моделирования передвижения мобильных роботов согласно найденным маршрутам при  $k_1 = 2, k_2 = 10, k_3 = 1$

Figure 7 – A fragment of mobile robot movement simulation according to the obtained routes ( $k_1 = 2, k_2 = 10, k_3 = 1$ )

Таблица 2 – Результаты эволюционного поиска маршрутов для группы роботов  
Table 2 – Evolutionary route search results for a robotic group

№ эксперимента	$k_1$	$k_2$	$k_3$	Радиус связи $R_{max}$	Суммарная длина маршрута $L_{sum}$	Оценка связности F1	Оценка скрытности F2	Макс. удаленность от ретранслятора R
1	1	1	1	200	1892	0,600	0,596	296
2	5	1	2	200	2012	0,970	0,126	253
3	10	1	2	200	2302	1,000	0,111	199

Анализируя данные Таблицы 2, можно заключить что предложенные алгоритмы достаточно хорошо справляются с поставленной задачей. Так при достаточно большом значении весового коэффициента  $k_1$ , отвечающего за непрерывность информационного обмена, удается удержать максимальное удаление роботов от ретранслятора в пределах радиуса связи  $R \leq R_{max}$

## Выводы

Создание комплекса научно-технических решений для безопасного межмашинного обмена данными между агентами мобильных робототехнических групп с сетевым управлением требует проработки комплекса различных задач из теории управления, оптимизации и защиты информации. Существующие подходы по обеспечению защиты информации в таких системах не могут быть применены для экстремальных условий такого приоритетного направления как робототехника в связи с массовой интеграцией специфических технологий, а также отсутствием адаптированных моделей угроз и моделей нарушителя.

В рамках данного исследования был разработан комплекс кроссплатформенных программных средств, обеспечивающих планирование траектории гетерогенной МАРС с условием поддержания связи для выполнения передачи управляющих сигналов. Это позволяет обеспечить сокрытие управляющих сигналов в рамках процесса интеллектуального взаимодействия группы робототехнических комплексов при решении ими единой задачи, обеспечивая эффективное формирование защищенных механизмов межмашинного обмена данными между агентами вне зоны контролируемой территории.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Володин Р.С., Золотарева Е.С., Мешков А.М. Сетевое управление: понятие и сущность. *Журнал "У". Экономика. Управление. Финансы.* 2018;2:51–64.
2. Шумская О.О., Исхакова А.О. Проблемы маскирования управляющих сигналов агентов мобильных робототехнических групп. *Сборник трудов XIII Всероссийского совещания по проблемам управления ВСИУ-2019.* Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. 2019:3086–3091.
3. Shumskaya O., Iskhakova A. Application of digital watermarks in the problem of operating signal hidden transfer in multi-agent robotic system. *International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2019*, 18-20 April 2019. Tomsk, Russia. 2019:1–5. DOI: 10.1109/SIBCON.2019.8729669.
4. Varga A., Chira C., Dumitrescu D. A Multi-agent Approach To Solving Dynamic Traveling Salesman Problem. *AIP Conference Proceedings.* 2019;1117(1):189–197. DOI: 10.1063/1.3130623.
5. Kent T., Richards A. Decentralised Multi-Demic Evolutionary Approach to the Dynamic Multi-Agent Travelling Salesman Problem. *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference Companion on – GECCO '19*, 13-17 July 2019. Prague, Czech Republic. 2019:147–148. DOI: 10.1145/3319619.3321993.
6. Diane S., Manko S., Margolin I., Novosselskiy A. Hierarchical Scenarios for Behavior Planning in Autonomous Robots. *2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus)*, 28-31 Jan. 2019. Saint Petersburg and Moscow, Russia. 2019: 79–484.
7. Iskhakova A., Iskhakov A., Meshcheryakov R., Jharko E. Method of verification of robotic group agents in the conditions of communication facility suppression. *IFAC-PapersOnLine.* 52(13):1397–1402. DOI: 10.1016/j.ifacol.2019.11.394.
8. Мещеряков Р.В., Исхаков С.Ю. О проблемах анализа данных в системах управления инцидентами безопасности роботов. *Информационные технологии и системы. Труды Восьмой Всероссийской научной конференции с международным участием. Ханты-Мансийск; 2020.* С. 108–114.
9. Нго К.Т., Ронжин А.Л. Модельное и программное обеспечение взаимодействия гетерогенных роботов при выполнении сельскохозяйственных задач. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки.* 2019;10:10–17.

10. Dai S., Huang H., Wu F., Xiao S., Zhang T. Path Planning for Mobile Robot Based on Rough Set Genetic Algorithm. *Second International Conference on Intelligent Networks and Intelligent Systems*. 2009:278–28. DOI: 10.1109/ICINIS.2009.77.
11. Будко П.А., Жуков Г.А. Групповое использование робототехнических комплексов при выполнении миссий на глобальных удаленностях от пункта управления. *Comm – Телекоммуникации и Транспорт*. 2017;11(9):4–14.
12. Мещеряков Р.В., Исхаков А.Ю., Евсютин О.О. Современные методы обеспечения целостности данных в протоколах управления киберфизических систем. *Информатика и автоматизация*. 2020;19(5):1089–1122.
13. Bezumnov D.N., Voronov V.I. Development of the Research Stand for Exploration of Models and Algorithms for Group Control of Ground-Based Mobile Robots. *2021 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications*. 2021:1–6. DOI: 10.1109/IEEECONF51389.2021.9416084.

## REFERENCES

1. Volodin R.S.; Zolotareva E.S., Meshkov A.M. Network-centric management: the concept and essence. *Zhurnal "U". Ekonomika. Upravleniye = Finansy Journal U. Economics. Management. Finance*. 2018;2:51–64. (In Russ.)
2. Shumskaya O.O., Iskhakova A.O. Problems of masking control signals of agents of mobile robotic groups. *Sbornik trudov XIII Vserossiyskogo soveshchaniya po problemam upravleniya VSPU-2019 = Proceedings of XIII All-Russian meeting on control problems VSPU-2019. V.A. Trapeznaya Institute of control problems. V.A. Trapeznikov RAS*. 2019:3086–3091. (In Russ.)
3. Shumskaya O., Iskhakova A. Application of digital watermarks in the problem of operating signal hidden transfer in multi-agent robotic system. *International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2019*, 18-20 April 2019. Tomsk, Russia. 2019:1–5. DOI: 10.1109/SIBCON.2019.8729669.
4. Varga A., Chira C., Dumitrescu D. A Multi-agent Approach To Solving Dynamic Traveling Salesman Problem. *AIP Conference Proceedings*. 2019;1117(1):189–197. DOI: 10.1063/1.3130623.
5. Kent T., Richards A. Decentralised Multi-Demic Evolutionary Approach to the Dynamic Multi-Agent Travelling Salesman Problem. *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference Companion on - GECCO '19*, 13-17 July 2019. Prague, Czech Republic. 2019:147–148. DOI: 10.1145/3319619.3321993.
6. Diane S., Manko S., Margolin I., Novosselskiy A. Hierarchical Scenarios for Behavior Planning in Autonomous Robots. *2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIconRus)*, 28-31 Jan. 2019. Saint Petersburg and Moscow, Russia. 2019:479–484.
7. Iskhakova A., Iskhakov A., Meshcheryakov R., Jharko E. Method of verification of robotic group agents in the conditions of communication facility suppression. *IFAC-PapersOnLine*. 52(13):1397–1402. DOI: 10.1016/j.ifacol.2019.11.394.
8. Meshcheryakov R.V., Iskhakov S.Y. On problems of data analysis in robot security incident management systems. *Trudy Vos'moy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem = Information technologies and systems. Proceedings of the Eighth All-Russian scientific conference with international participation*. Khanty-Mansiysk; 2020. P. 108–114. (In Russ.)
9. Ngo K.T., Ronzhin A.L. Model and software interaction of heterogeneous robots in agricultural tasks. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskiye*

- nauki = Proceedings of Tula State University. Technical Sciences.* 2019;10:10–17. (In Russ.)
10. Dai S., Huang H., Wu F., Xiao S., Zhang T. Path Planning for Mobile Robot Based on Rough Set Genetic Algorithm. *Second International Conference on Intelligent Networks and Intelligent Systems.* 2009:278–28. DOI: 10.1109/ICINIS.2009.77.
  11. Budko P.A., Zhukov G.A. Group use of robotic complexes when performing missions at global distances from the control point. *Comm – Telekommunikatsii i Transport = Comm – Telecommunications and Transport.* 2017;11(9):4–14. (In Russ.)
  12. Meshcheryakov R.V., Iskhakov A.Y., Evsyutin O.O. Modern methods for ensuring the integrity of data in the control protocols of cyber-physical systems. *Informatika i avtomatizatsiya = Informatics and automation.* 2020, 19(5):1089–1122. (In Russ.)
  13. Bezumnov D.N., Voronov V.I. Development of the Research Stand for Exploration of Models and Algorithms for Group Control of Ground-Based Mobile Robots. *2021 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications.* 2021:1–6. DOI: 10.1109/IEEECONF51389.2021.9416084.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Диане Секу Абдель Кадер**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник ИПУ РАН, Москва, Россия  
*e-mail:* [diane@ipu.ru](mailto:diane@ipu.ru)  
ORCID: [0000-0002-8690-6422](https://orcid.org/0000-0002-8690-6422)

**Diane Sekou Abdel Kader**, PhD, Senior Researcher, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

**Исхаков Андрей Юнусович**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник ИПУ РАН, Москва, Российская Федерация.  
*e-mail:* [iskhakovandrey@gmail.com](mailto:iskhakovandrey@gmail.com)  
ORCID: [0000-0002-6603-265X](https://orcid.org/0000-0002-6603-265X)

**Iskhakov Andrey Yunusovich**, PhD, Senior Researcher, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

**Исхакова Анастасия Олеговна**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник ИПУ РАН, Москва, Российская Федерация.  
*e-mail:* [shumskaya.ao@gmail.com](mailto:shumskaya.ao@gmail.com)  
ORCID: [0000-0001-8358-298X](https://orcid.org/0000-0001-8358-298X)

**Iskhakova Anastasia Olegovna.**, PhD, Senior Researcher, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

*Статья поступила в редакцию 18.02.2022; одобрена после рецензирования 17.03.2022; принята к публикации 30.03.2022.*

*The article was submitted 18.02.2022; approved after reviewing 17.03.2022; accepted for publication 30.03.2022.*