



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ».

Институт энергомашиностроения и механики.

Кафедра робототехники, мехатроники, динамики и прочности машин.

Выпускная квалификационная работа на тему: «Мультиагентное взаимодействие роя роботов»

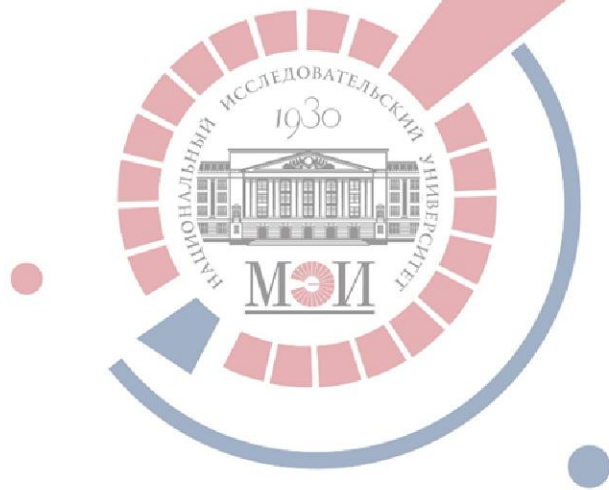
Направление: 15.03.06 Мехатроника и робототехника

Образовательная программа: Компьютерные технологии
управления в робототехнике и мехатронике

Студент: Разорвин Андрей Дмитриевич

Группа: С-126-20

Научный руководитель: Адамов Борис Игоревич



Применение мультиагентных алгоритмов управления роем роботов, является инновационным подходом в робототехнике, позволяя роботам-агентам действовать автономно и координировано, обеспечивая высокую адаптивность и эффективность при решении сложных задач.

Применение таких систем актуально в различных сферах, включая промышленность, военную сферу, исследование местности и медицину.



Цель работы

Целью данной работы является разработка и исследование алгоритмов мультиагентного взаимодействия роя роботов для решения задачи нахождения кратчайшего пути для каждого робота-агента.

Исходя из цели работы, выделим следующие задачи:

- формирование математической модели,
- создание среды моделирование,
- разработка алгоритмов,
- оценка эффективности и применимости алгоритмов в реальных условиях.

Математическая модель

Вектор состояния:

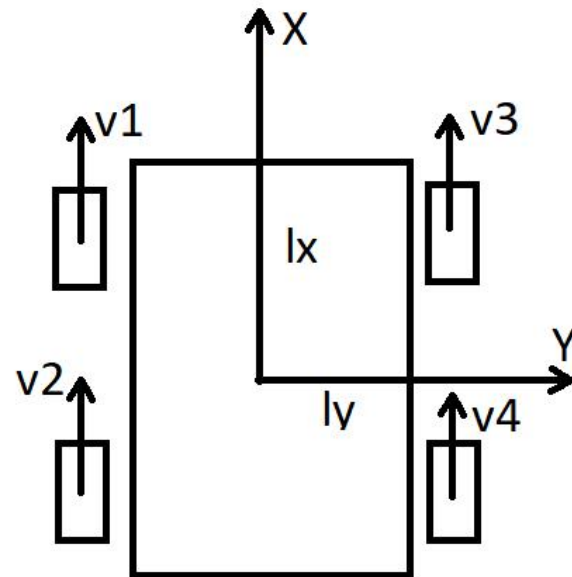
$$\bar{x} = (x, y, \theta)$$

Уравнения связи координат и скоростей дифференциального привода:

$$x_{t+1} = x_t + v_t \cos(\theta_t)$$

$$y_{t+1} = y_t + v_t \sin(\theta_t)$$

$$\theta_{t+1} = \theta_t + \omega_t t$$



Математическая модель

Модель определение положения робота:

$$\hat{R} = [\hat{R}_1 \ \hat{R}_2 \ \hat{R}_3 \ \hat{R}_4]^T$$

$$\frac{\partial R_i}{\partial x_0} = \frac{-(x_i - x_0)}{\sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 + (z_i - z_0)^2}} = \frac{-(x_i - x_0)}{\|x_i - x\|}$$

$$x_k = x_{k-1} + ((H(x_{k-1}))^{-1}H(x_{k-1}))^{-1}(H(x_{k-1}))^T(\hat{R} - f(x))$$

Модель определение ориентации робота:

$$\theta_{\text{земли } x} = \int_0^t \Omega_{\text{земли}} \cos(\psi) dt$$

$$\theta_{\text{земли } y} = \int_0^t \Omega_{\text{земли}} \sin(\psi) dt$$

$$\begin{pmatrix} \phi_x \\ \phi_y \\ \phi_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \phi_x - \alpha_x - \theta_{\text{земли } x} \\ \phi_y - \alpha_y - \theta_{\text{земли } y} \\ \phi_z - \alpha_z \end{pmatrix}$$

$$\alpha_x = \Delta_x + \alpha_{0x}$$

$$\alpha_y = \Delta_y - \alpha_{0y}$$

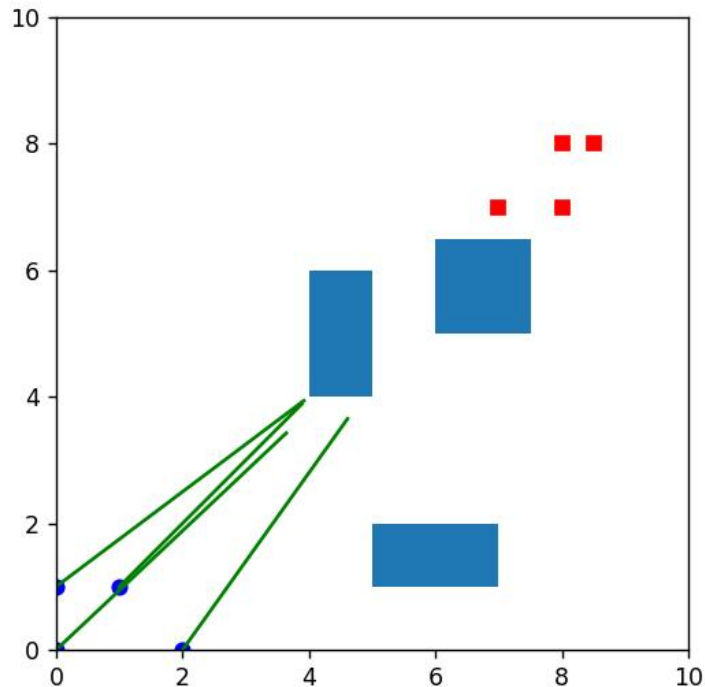
$$\alpha_z = \Delta_z$$



Разработка среды компьютерного моделирования

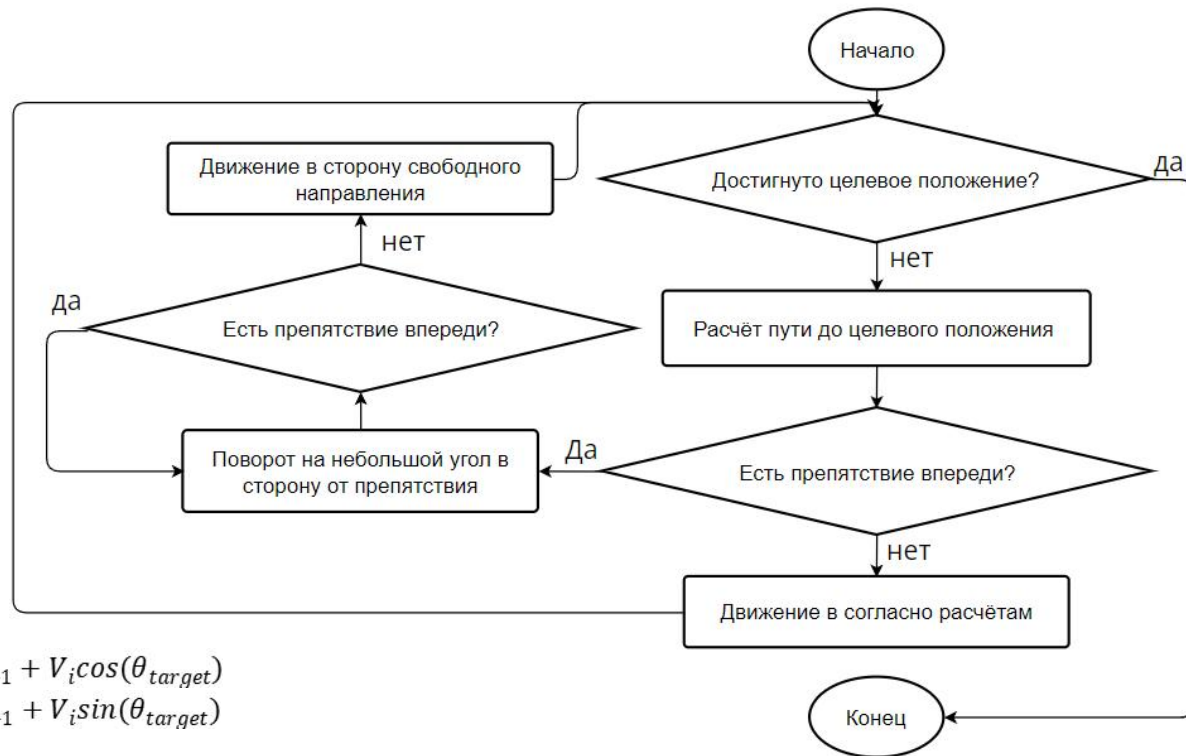
Основные сущности и функции, которые должна учитывать среда моделирования:

- робот: автономный агент,
- целевая позиция,
- модель движения
- алгоритмы восприятия и обхода препятствий



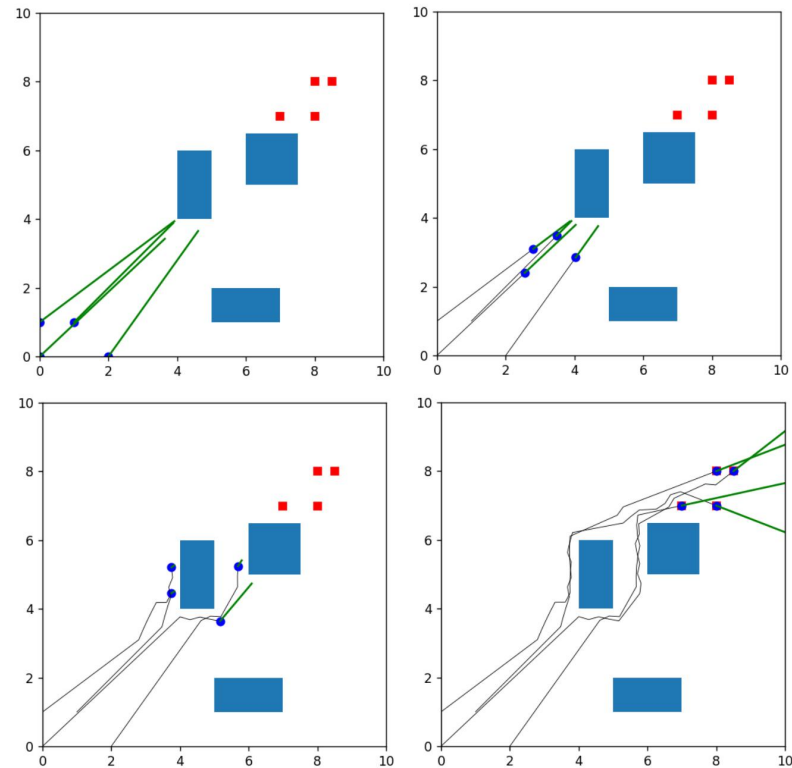
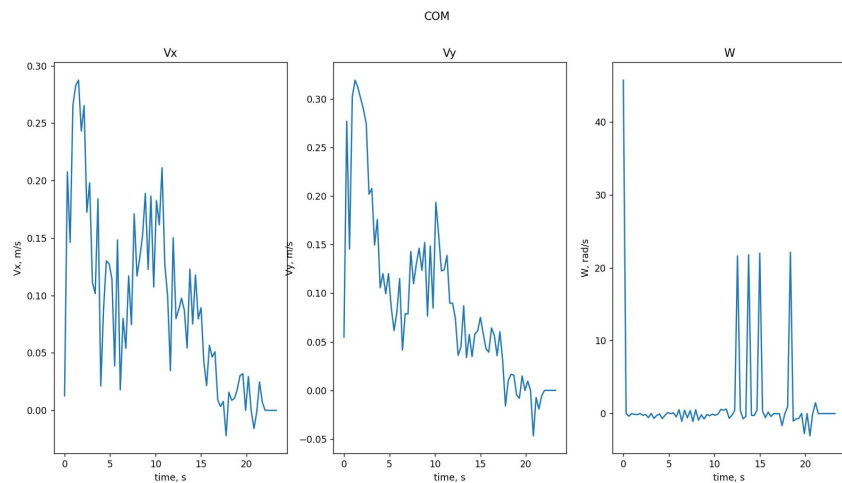
COM алгоритм

Common sense (COM) или алгоритм на основе здравого смысла: каждый робот действует по простому алгоритму, продвигаясь к целевой точке по прямой и объезжая препятствия и других роботов. Положения других роботов алгоритм учитывает только при сближении для избежания столкновений.



$$\theta_{target} = \arctg\left(\frac{(x_{target} - x_{i-1})}{(y_{target} - y_{i-1})}\right) \quad \begin{aligned} x_i &= x_{i-1} + V_i \cos(\theta_{target}) \\ y_i &= y_{i-1} + V_i \sin(\theta_{target}) \end{aligned}$$

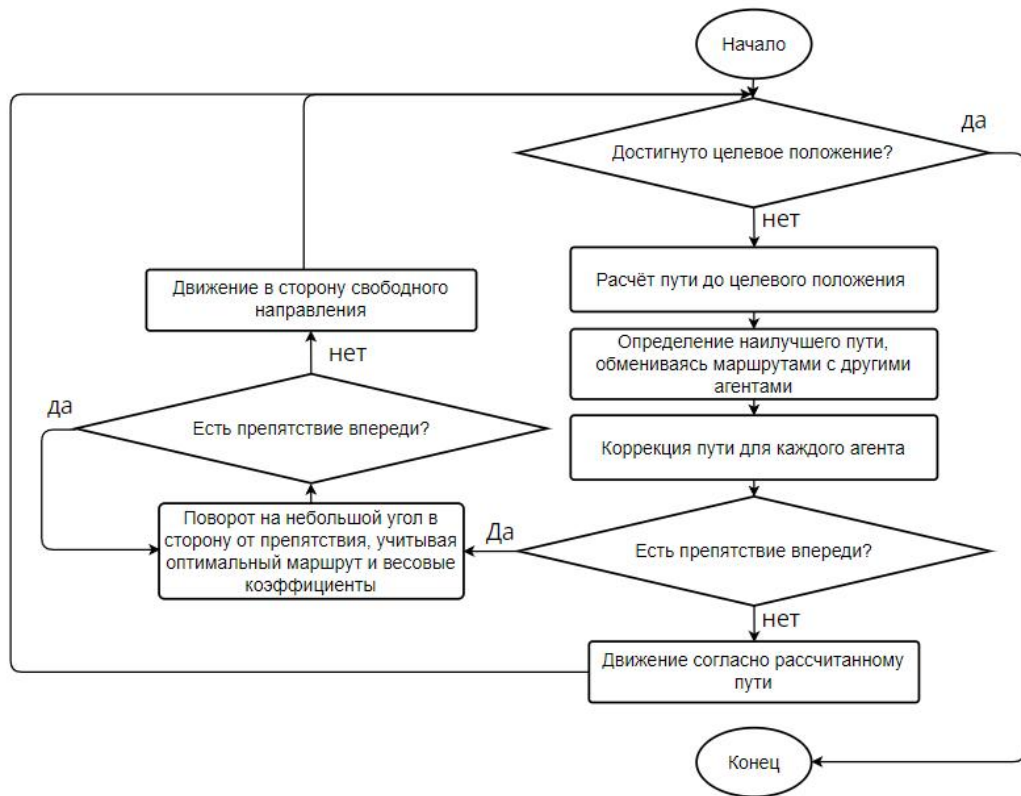
COM алгоритм



PSO алгоритм

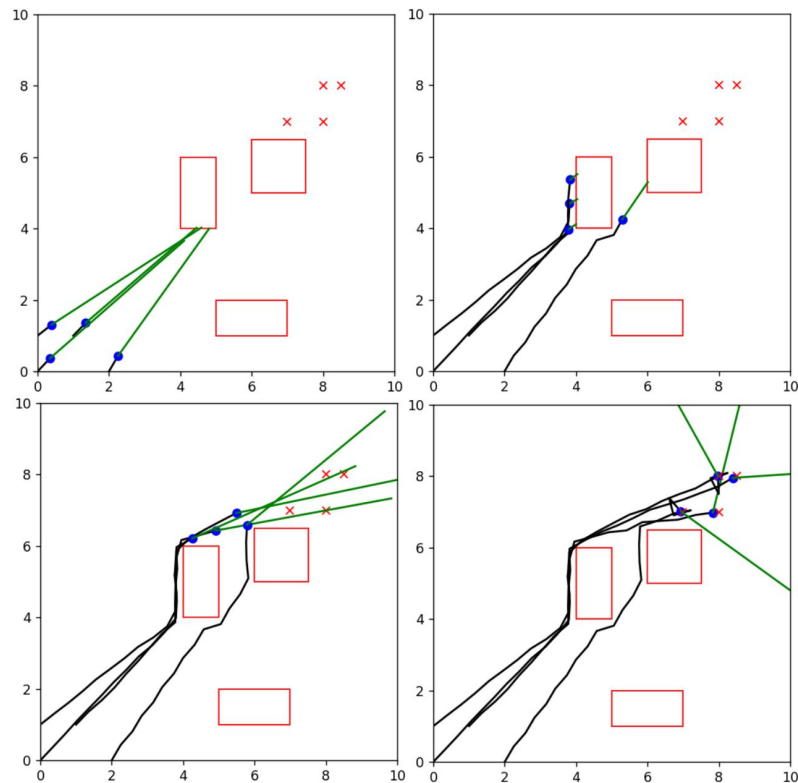
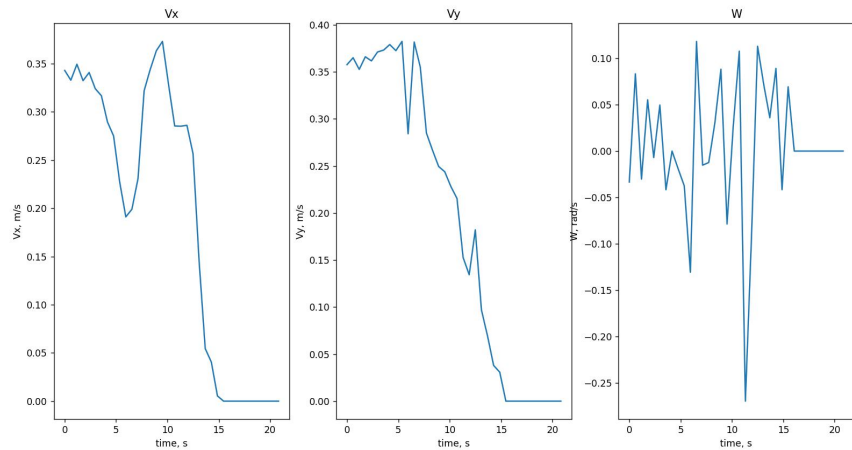
Алгоритм роя частиц (PSO), применяемый в данной программе, представляет собой вариацию метода роя частиц, в основе которого лежит концепция социального взаимодействия и обмена информацией между частицами (в данном случае роботами-агентами), что позволяет каждой частице адаптироваться и улучшать своё положение в пространстве в соответствии с опытом других частиц.

$$V_{i+1} = qV_i + \varphi_p R_p (p_{best} - p_i) + \varphi_g R_g (g_{best} - p_i)$$



PSO алгоритм

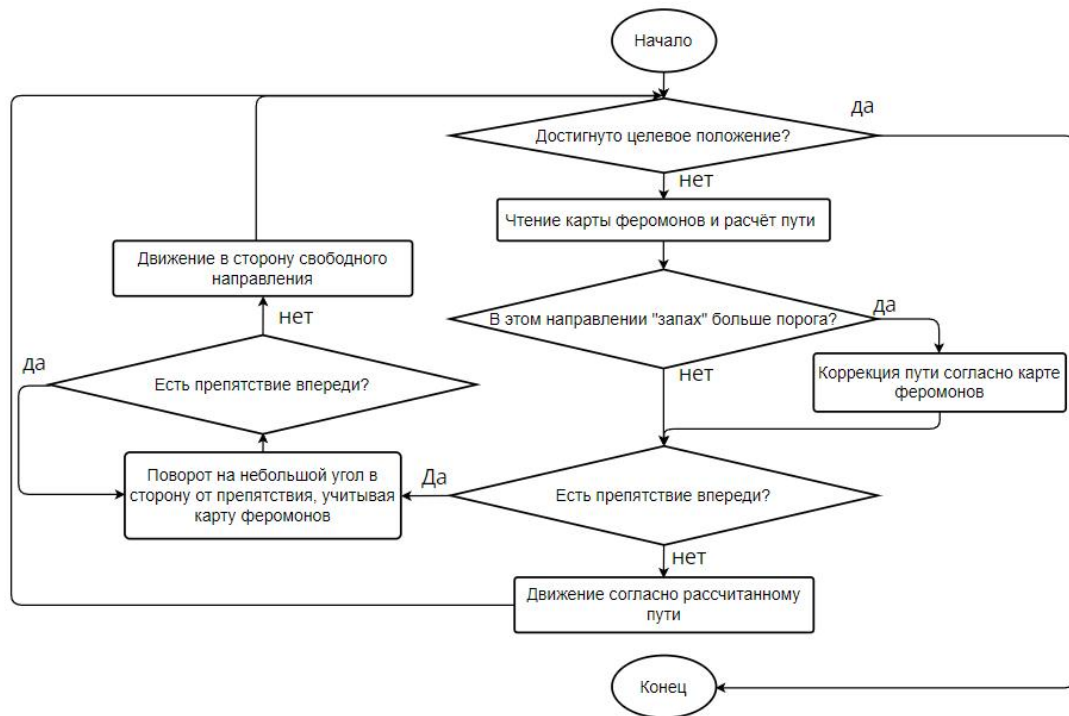
PSO



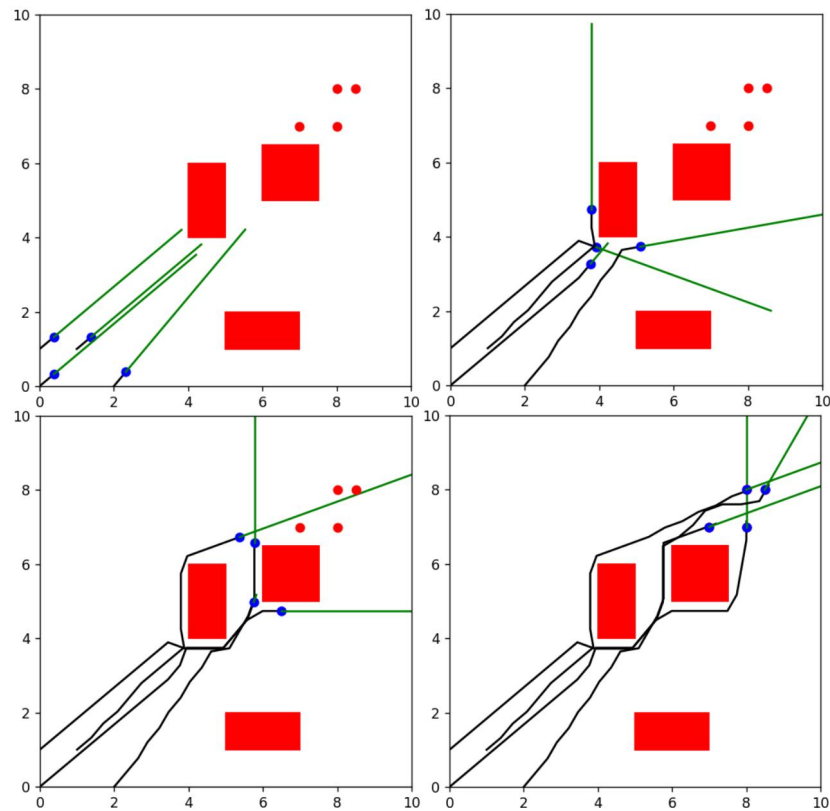
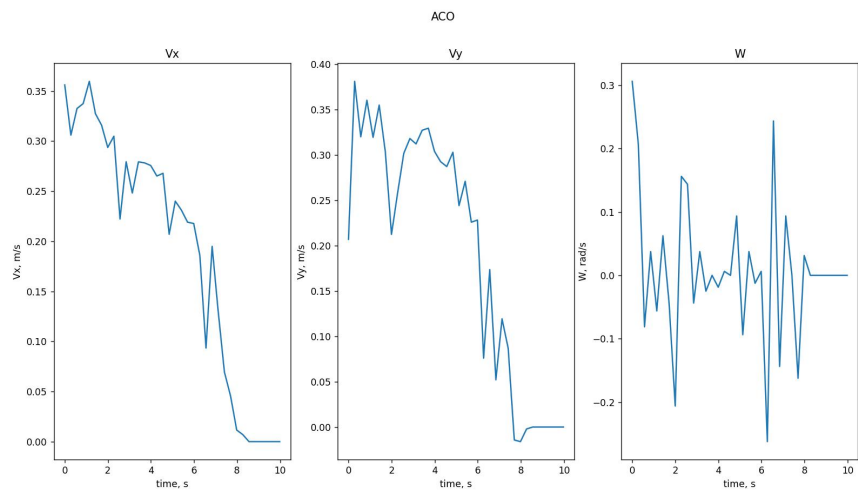
ACO алгоритм

Муравьиный алгоритм в контексте управления роем роботов, адаптируется для оптимизации маршрутов движения в заданной среде с препятствиями, используя концепцию феромонов для маркировки и выбора оптимальных путей.

$$S(x, y) = \alpha F(x, y) + \beta \frac{1}{D(x, y)}$$



ACO алгоритм



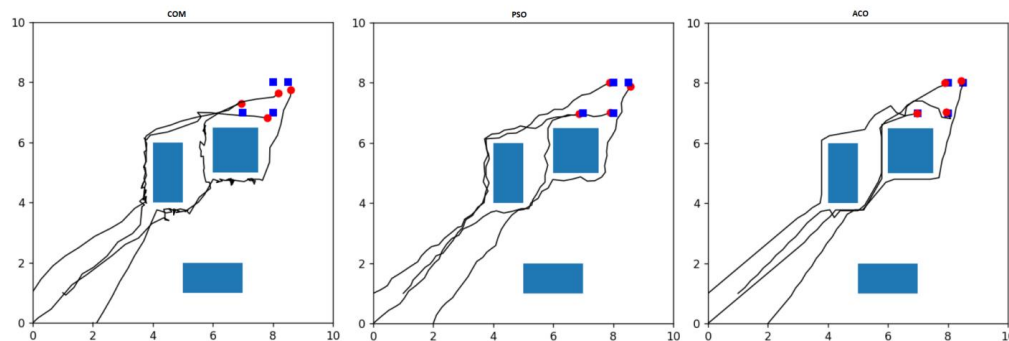
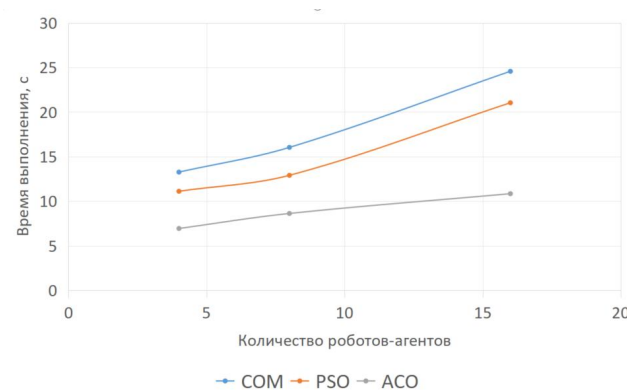
Результаты натурного эксперимента и анализ проделанной работы

Моделирование:

Количество роботов	Алгоритм		
	COM	PSO	ACO
4 робота	13.26 с	11.11 с	6.94 с
8 роботов	16.03 с	12.90 с	8.62 с
16 роботов	24.56 с	21.03 с	10.84 с

Эксперимент:

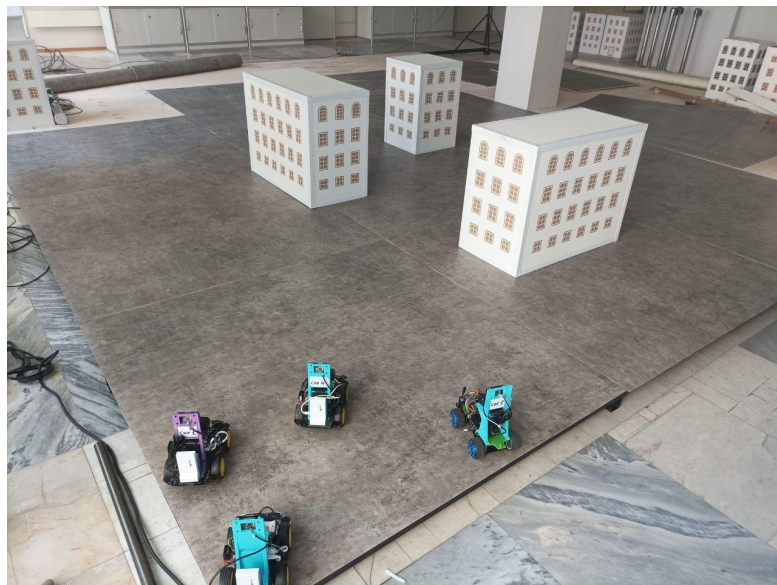
Количество роботов	Алгоритм		
	COM	PSO	ACO
4 робота	14.06 с	12.51 с	10.28 с



Заключение

Разработана математическая модель системы, программная среда для моделирования и проведён натурный эксперимент.

Были рассмотрены три алгоритма мультиагентного взаимодействия: алгоритм на основе здравого смысла (COM), метод роя частиц (PSO) и муравьиный алгоритм (ACO). Алгоритм ACO по результатам моделирования и эксперимента был наиболее эффективен.



ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

Тема: «Мультиагентное взаимодействие роя роботов»

Библиографический список

1. В. И. Городецкий, О. В. Карсаев, В. В. Самойлов, С. В. Серебряков, // Прикладные многоагентные системы группового управления./ Искусственный интеллект и принятие решений, 2009, выпуск 2, 3–24
2. Baykasoglu A., Ozbakir L., Tapkan P.// Artificial bee colony algorithm and its application to generalized assignment problem /Swarm Intelligence: Focus on Ant and particle swarm optimization. –2007.– Т. 1.
3. M. Dorigo, M. Birattari and T. Stutzle, //Ant colony optimization / in IEEE Computational Intelligence Magazine, vol. 1, no. 4, pp. 28-39, Nov. 2006, doi: 10.1109/MCI.2006.329691.
4. Андреев В.Д.// Теория инерциальной навигации. (Автономные системы). / Издательство «Наука», 1966.
5. Y. Cheng and T. Zhou, // UWB Indoor Positioning Algorithm Based on TDOA Technology/ pp. 777-782, 2019.
6. O. V. Glukhov, I. A. Akinfiev, A. D. Razorvin, A. A. Chugunov, D. A. Gutarev and S. A. Serov, "Loosely Coupled UWB/Stereo Camera Integration for Mobile Robots Indoor Navigation," 2023 5th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), Moscow, Russian Federation, 2023, pp. 1-7, doi: 10.1109/REEPE57272.2023.10086807.

Спасибо за внимание!