



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 и исследование местности.



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 программы для моделирования,
- разработка алгоритмов,
- оценка эффективности и применимости алгоритмов в реальных условиях.

Мультиагентная задача

Поставим задачи, которые должна решать наша мультиагентная система:

- переместить каждого агента роя из своего начального положения в целевое;
- избегать столкновения агентов роя друг с другом и с окружающими препятствиями;
- выполнить задачу наиболее эффективно по времени.

Для решения этой задачи каждый агент роя роботов должен определять своё местоположение, уметь планировать свой путь, учитывать положения окружающих роботов и соблюдать требования, заданные для всего роя.

Вектор состояния:

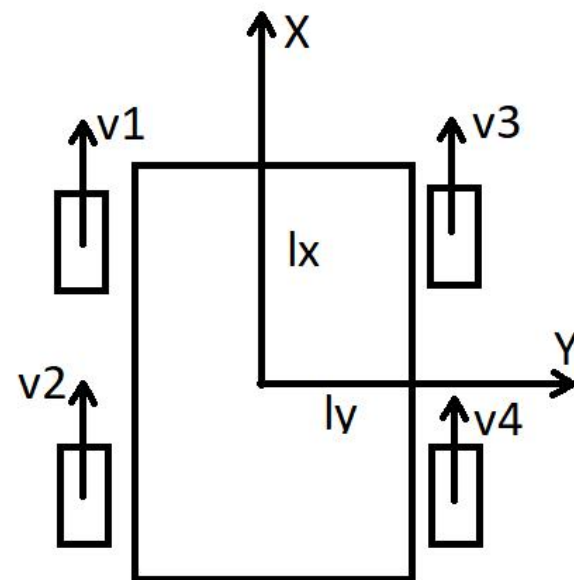
$$\bar{x} = (x, y, \theta)$$

Уравнения связи координат и скоростей дифференциального привода:

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

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

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



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:

$$\theta_{\text{земли } x} = \int_t^t \Omega_{\text{земли}} \cos(\psi) dt \quad \alpha_x = \Delta_x + \alpha_{0x}$$

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

$$\alpha_z = \Delta_z$$

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

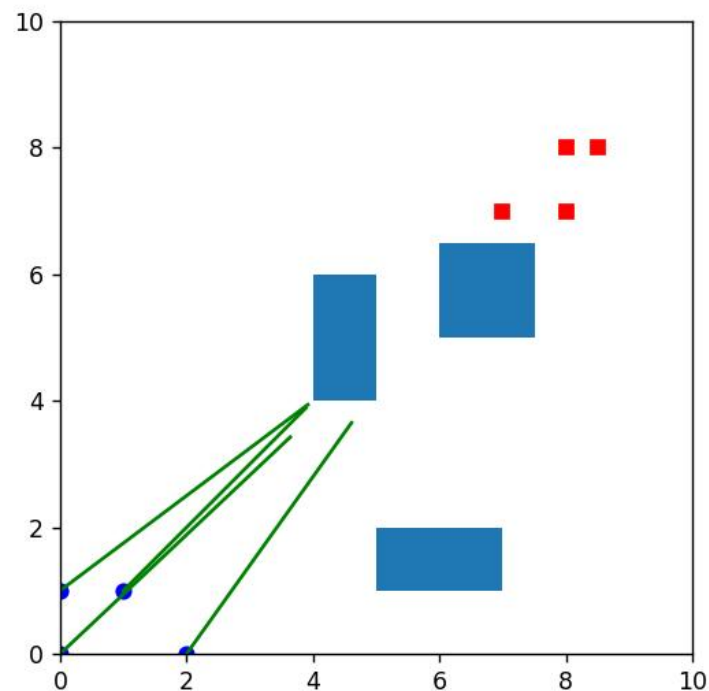
$$\begin{pmatrix} \phi_x \\ \phi_y \\ \phi_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \phi_x - \alpha_x - \theta_{\text{земли } x} \\ \phi_y - \alpha_y - \theta_{\text{земли } y} \\ \phi_z - \alpha_z \end{pmatrix}$$



Разработка программы компьютерного моделирования

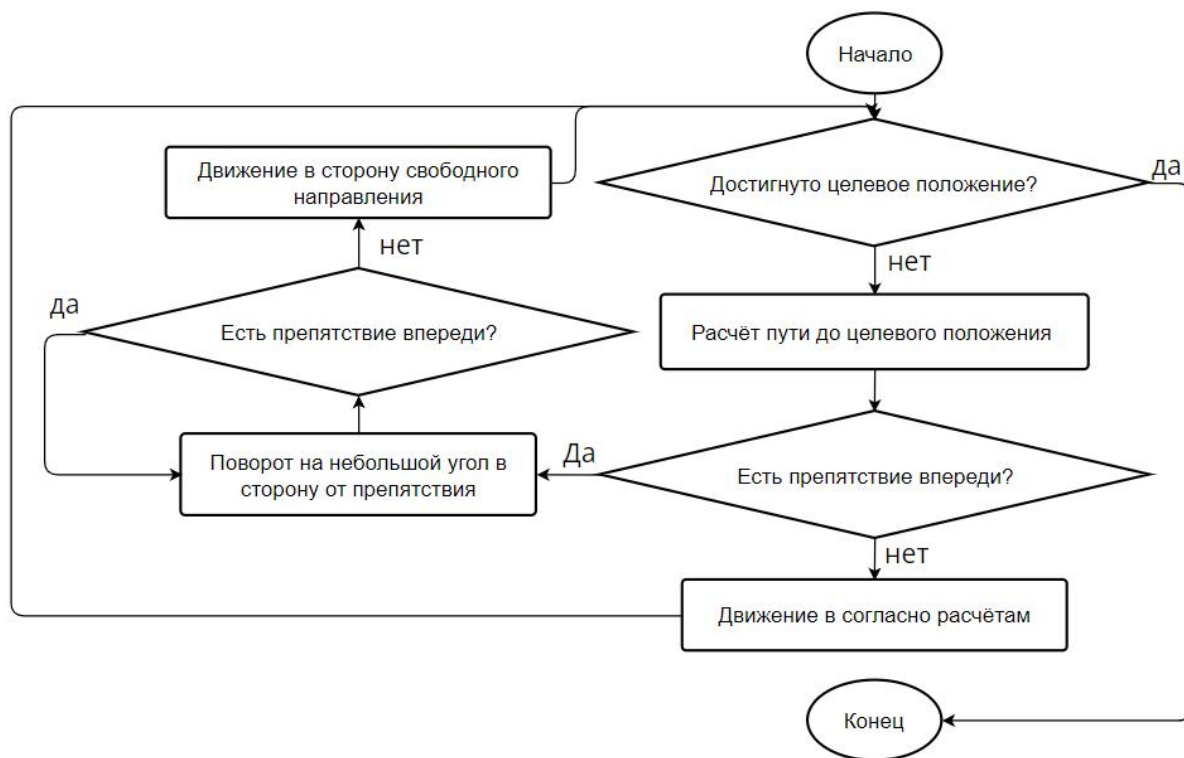
Основные сущности и функции, которые должны учитываться при моделировании:

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



COM алгоритм

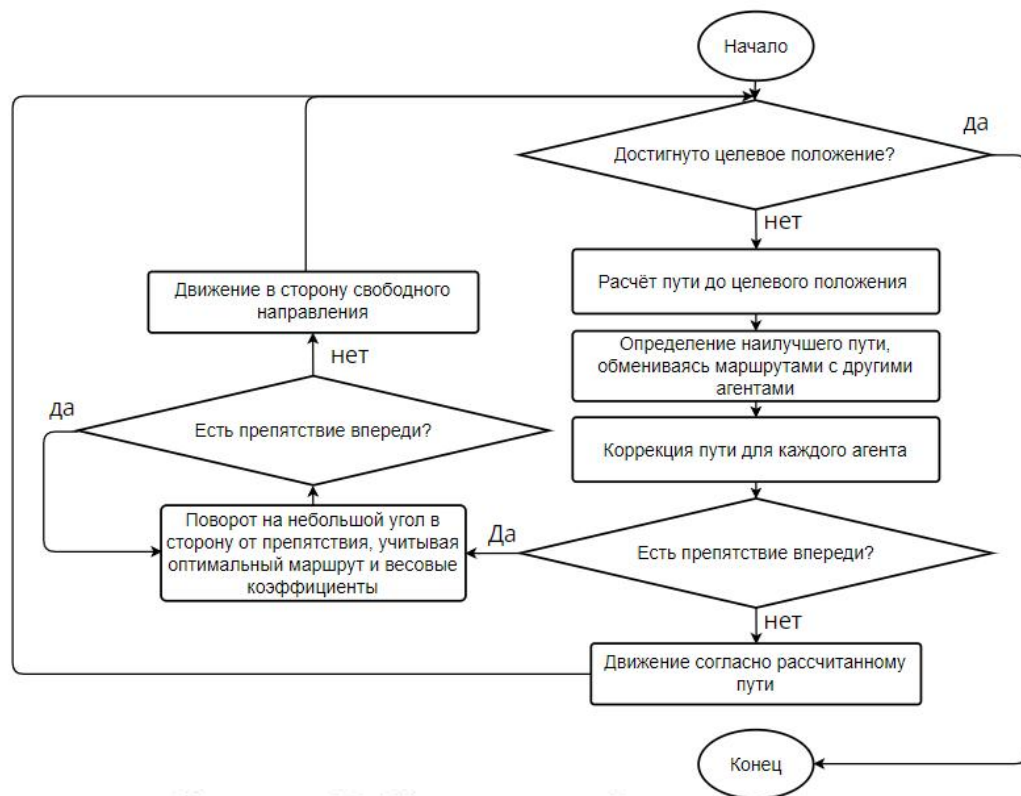
Common sense (COM) или алгоритм на основе здравого смысла: каждый робот действует по простому алгоритму, продвигаясь к целевой точке по прямой и объезжая препятствия и других роботов. Положения других роботов алгоритм учитывает только при сближении для избежания столкновений.



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

PSO алгоритм

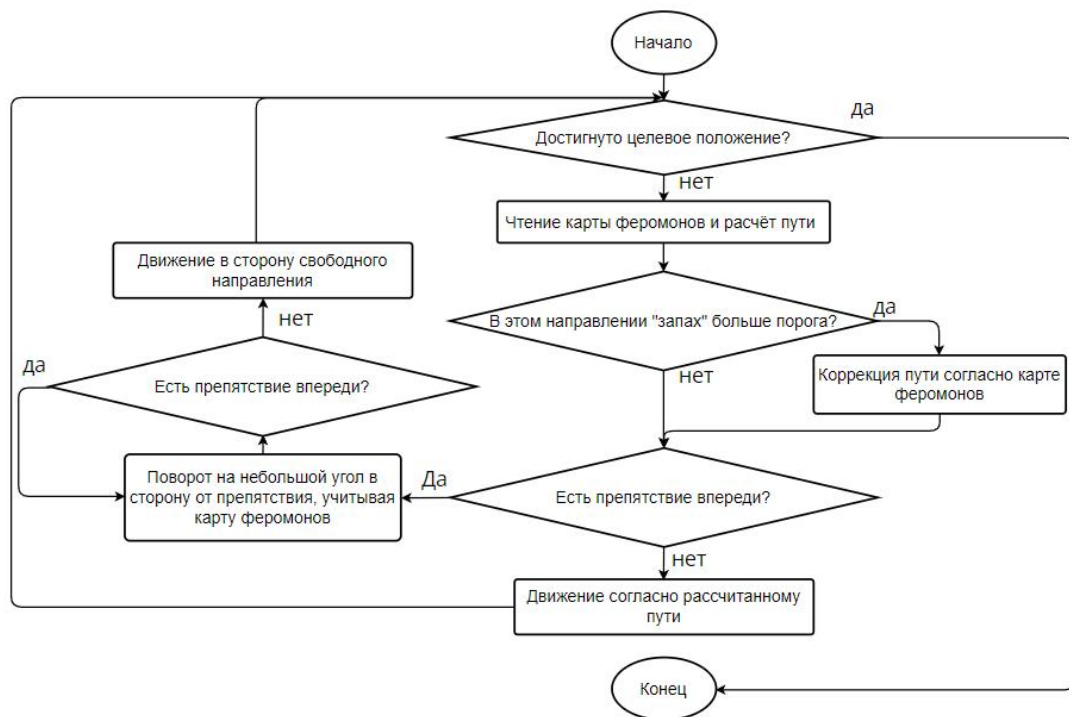
Алгоритм роя частиц (PSO), применяемый в данной программе, представляет собой вариацию метода роя частиц, в основе которого лежит концепция социального взаимодействия и обмена информацией между частицами (в данном случае роботами-агентами), что позволяет каждой частице адаптироваться и улучшать своё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



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

ACO алгоритм

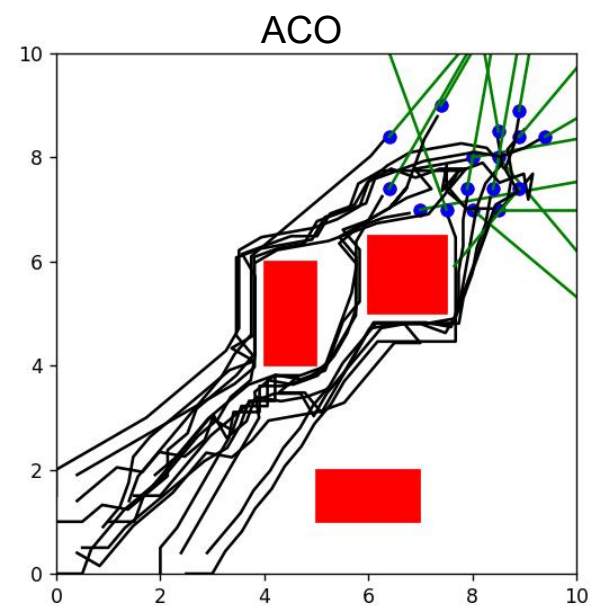
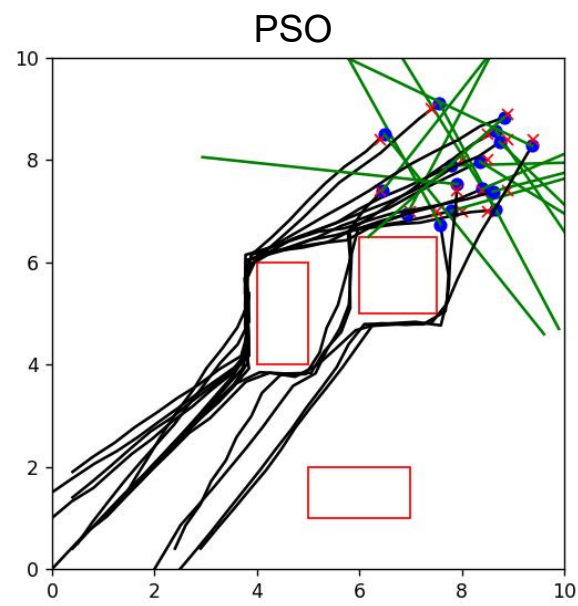
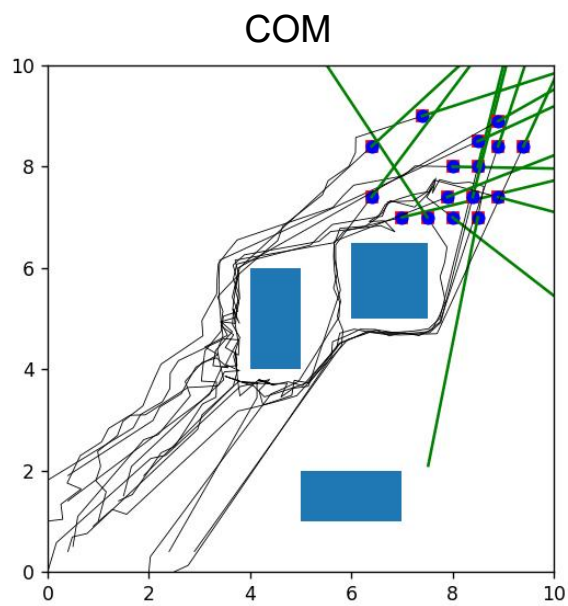
Муравьиный алгоритм в контексте управления роем роботов, адаптируется для оптимизации маршрутов движения в заданной среде с препятствиями, используя концепцию феромонов для маркировки и выбора оптимальных путей.



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

Результаты моделирования

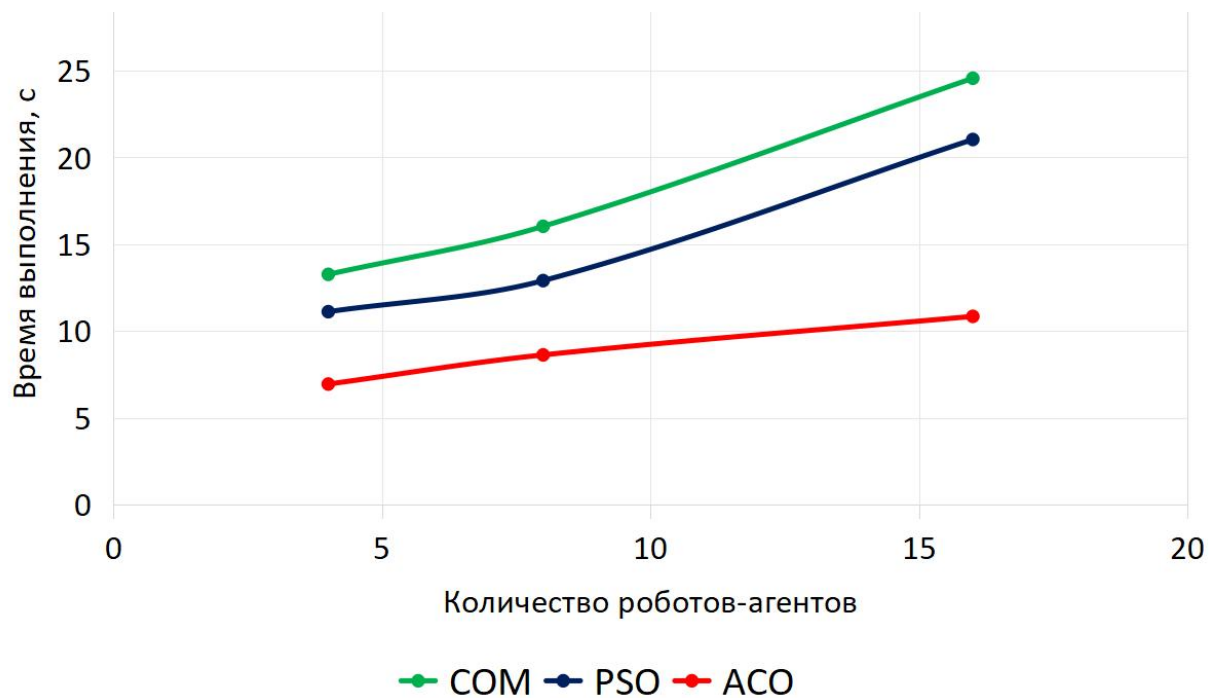
Траектории роя роботов в программе моделирования для 16 агентов.



Результаты моделирования

Моделирование:

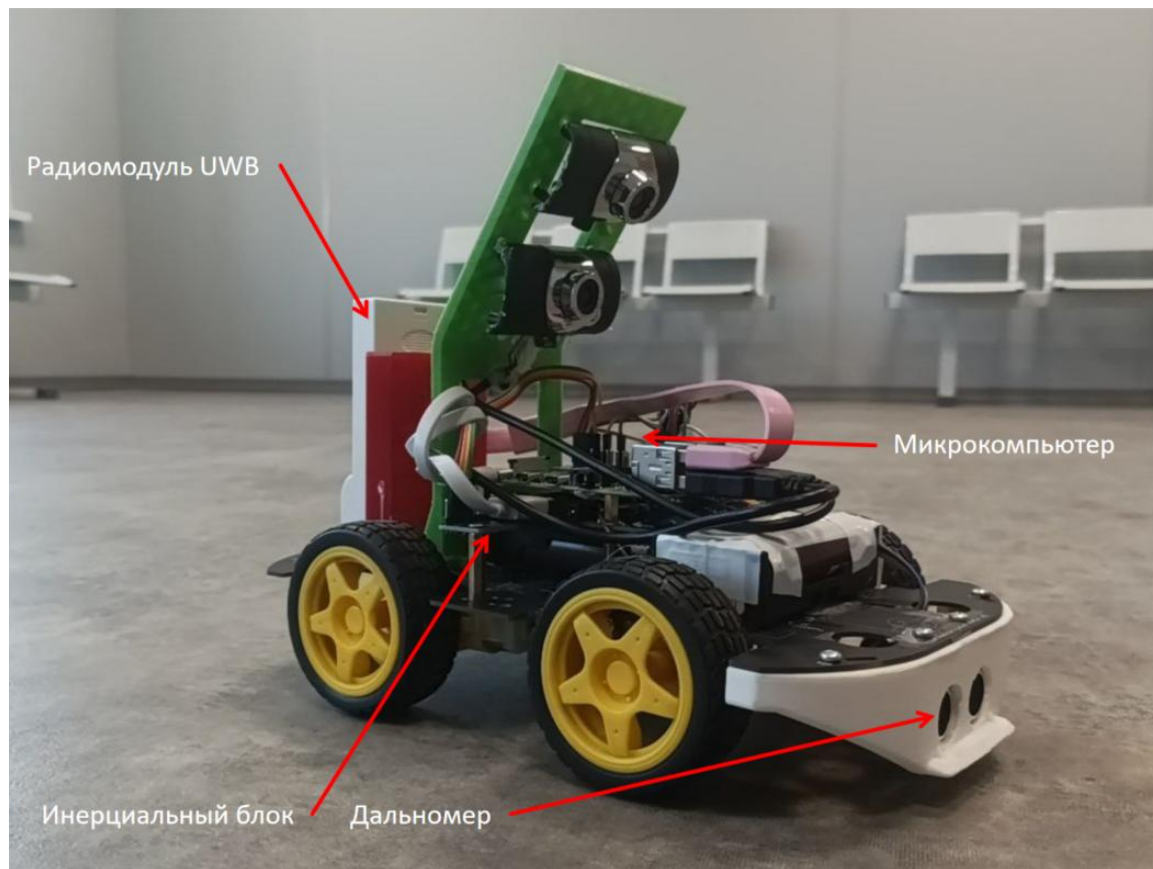
Количество роботов	Алгоритм		
	COM	PSO	ACO
4 робота	13.26 с	11.11 с	6.94 с
8 роботов	16.03 с	12.90 с	8.62 с
16 роботов	24.56 с	21.03 с	10.84 с



Натурный эксперимент

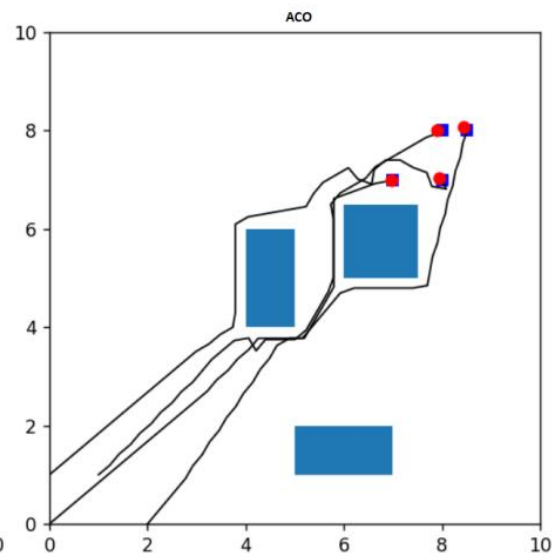
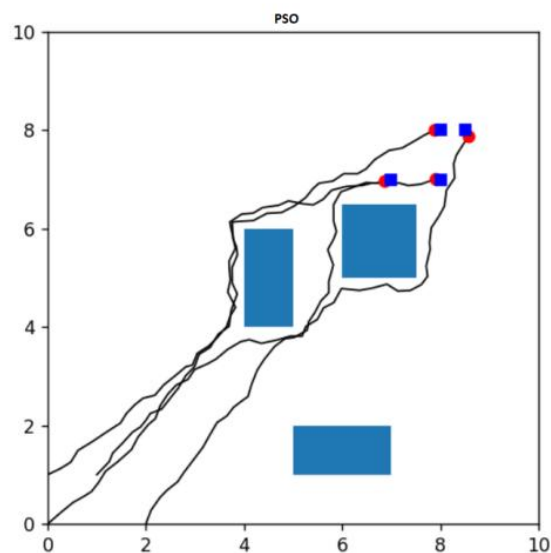
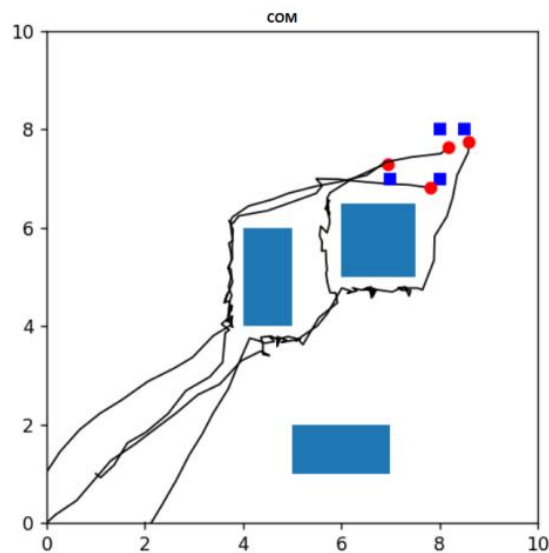
Состав мибильных роботов:

- 1 - Raspberry Pi 4
- 2 - моторы с редукторами
- 3 - драйвер электродвигателей
- 4 - элемент питания
- 5 - ультразвуковой дальномер
- 6 - инерциальный датчик
- 7 - радиомодуль MDEK1001.



Результаты натурального эксперимента и анализ проделанной работы

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



Заключение

Разработана математическая модель роя роботов, программа для моделирования и проведён натурный эксперимент.

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

