



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



### Актуальность

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.

## Математическая модель

Вектор состояния:

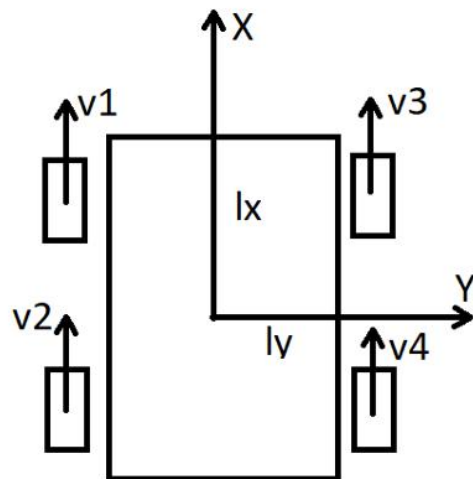
$$\bar{x} = (x, y, \theta)$$

Уравнения связи координат и скоростей дифференциального привода:

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

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

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



5

## 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:

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

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

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

$$\begin{aligned} \alpha_x &= \Delta_x + \alpha_{0x} \\ \alpha_y &= \Delta_y - \alpha_{0y} \\ \alpha_z &= \Delta_z \end{aligned}$$



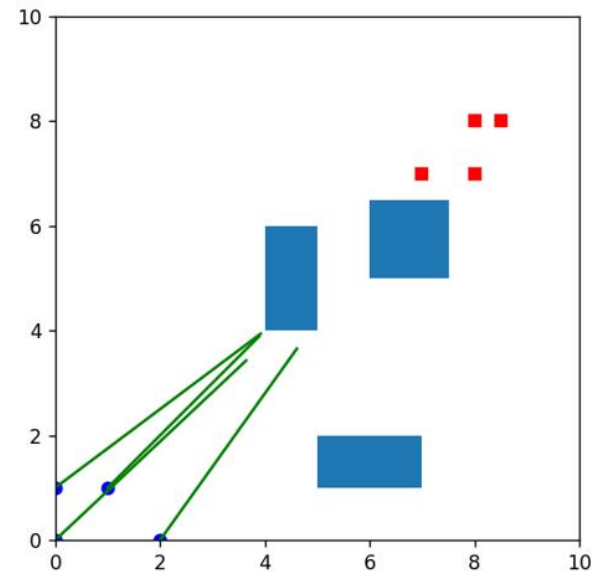
6



## Разработка программы компьютерного моделирования

Основные сущности и функции, которые должны учитываться при моделировании:

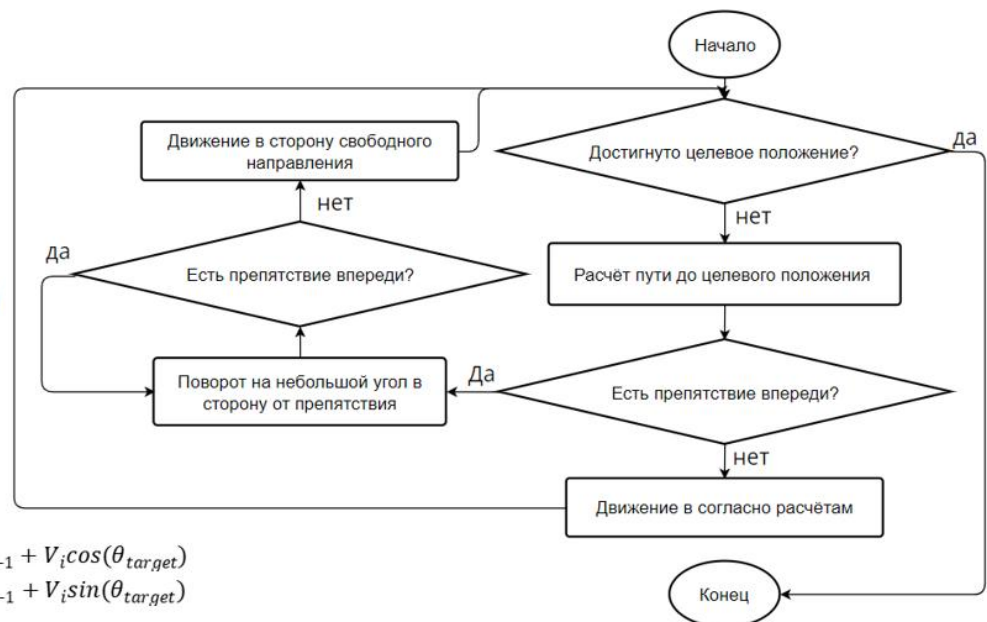
- робот: автономный агент,
- целевая позиция,
- модель движения
- алгоритмы восприятия и обхода препятствий



7

## 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.

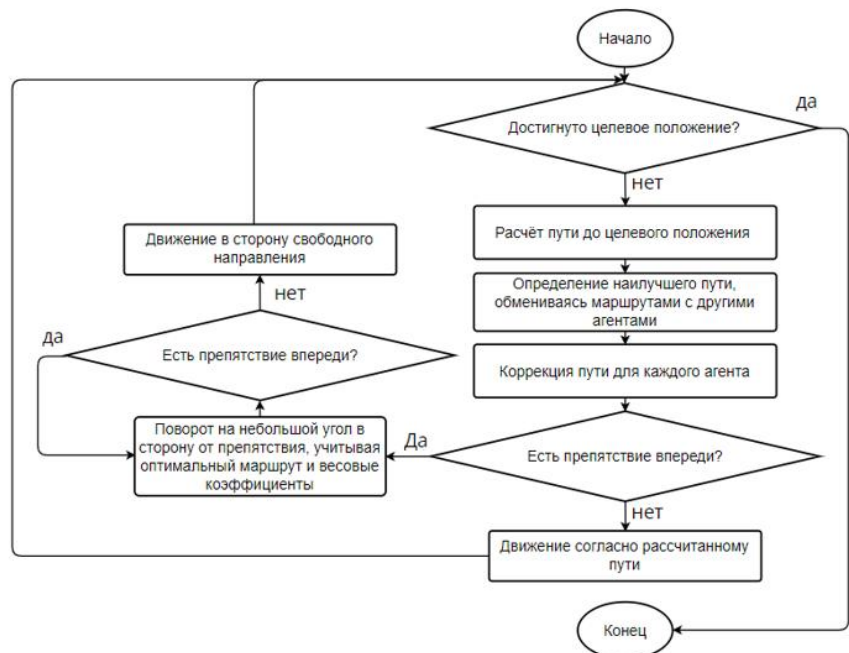


$$\theta_{target} = \arctg\left(\frac{(x_{target} - x_{i-1})}{(y_{target} - y_{i-1})}\right) \quad \begin{aligned} x_i &= x_{i-1} + V_i \cos(\theta_{target}) \\ y_i &= y_{i-1} + V_i \sin(\theta_{target}) \end{aligned}$$

## 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.

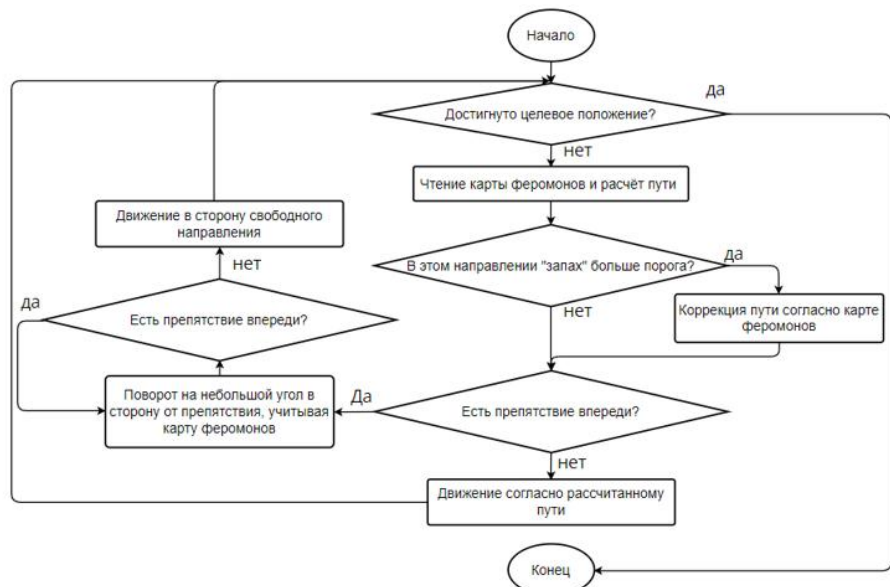
$$V_{i+1} = qV_i + \varphi_p R_p(p_{best} - p_i) + \varphi_g R_g(g_{best} - p_i)$$



## 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.

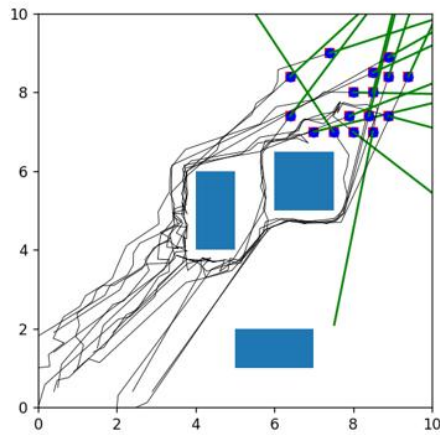
$$S(x, y) = \alpha F(x, y) + \beta \frac{1}{D(x, y)}$$



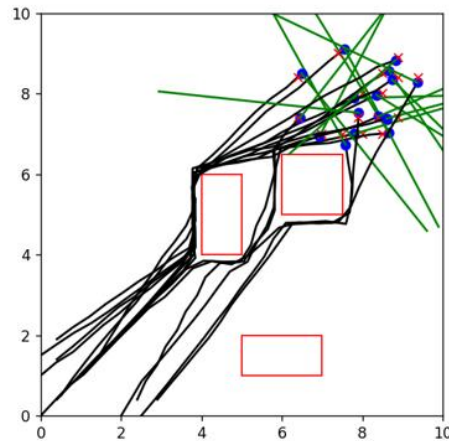
## Результаты моделирования

Траектории роя роботов в программе моделирования для 16 агентов.

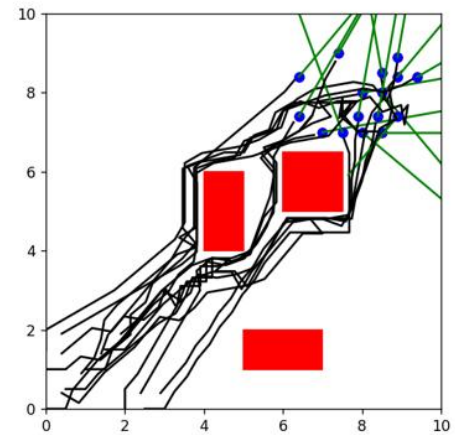
COM



PSO



ACO

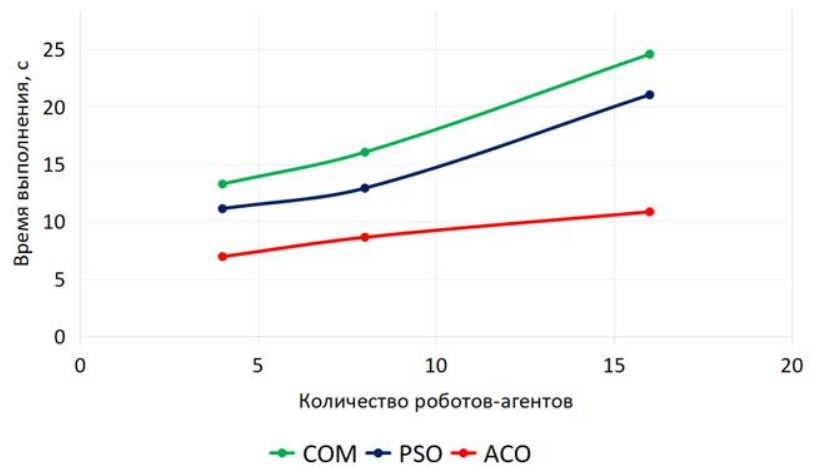


11

## 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

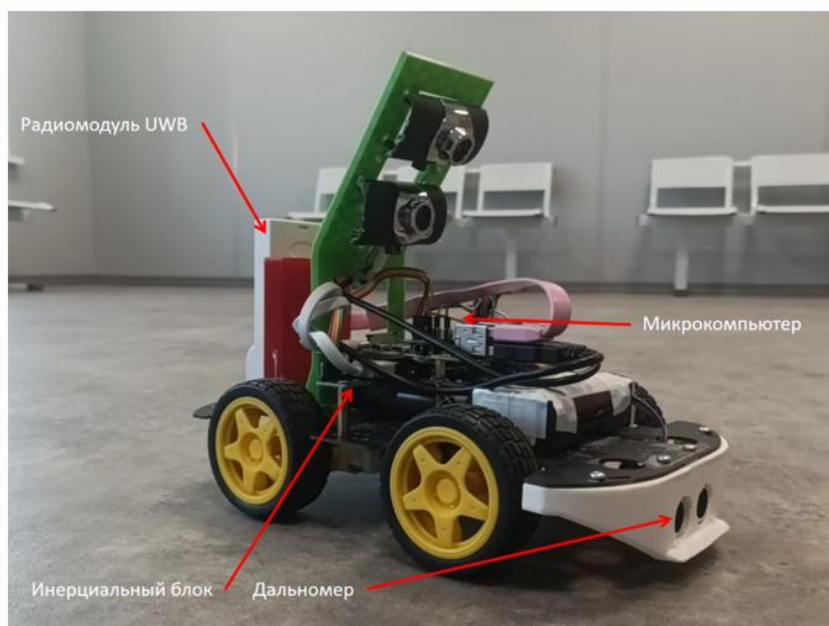


12

## Натурный эксперимент

Состав мибильных роботов:

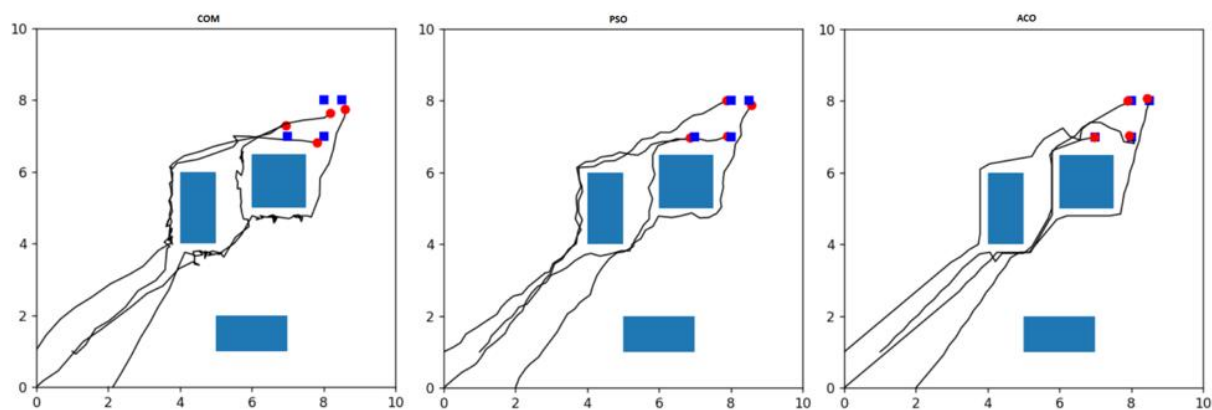
- 1 - Raspberry Pi 4
- 2 - моторы с редукторами
- 3 - драйвер электродвигателей
- 4 - элемент питания
- 5 - ультразвуковой дальномер
- 6 - инерциальный датчик
- 7 - радиомодуль MDEK1001.



13

## Результаты натурального эксперимента и анализ проделанной работы

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



14



## 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.

