



Факультет Систем Управления и Робототехники
Мехатроника и робототехника

Разработка алгоритма принятия решения в задаче навигации мобильного робота в условиях динамического окружения

Кирбаба Денис Дмитриевич

Научный руководитель:
Бжихатлов Ислам Асланович
доцент факультета систем управления и робототехники

Санкт-Петербург
2024

Актуальность темы исследования

Тенденции:

- Расширение области применения мобильных роботов
- Большинство окружений являются динамическими
- Возможность доступа человека-оператора снижается
- Необходимость в алгоритмах принятия решений для обработки сложных сценариев

Основные требования к системе:

- Автономность
- Надежность
- Безопасность



Цель и задачи исследования



Цель исследования:

Разработать систему для повышения автономности, безопасности и надежности навигации роботов в динамическом окружении

Задачи исследования:

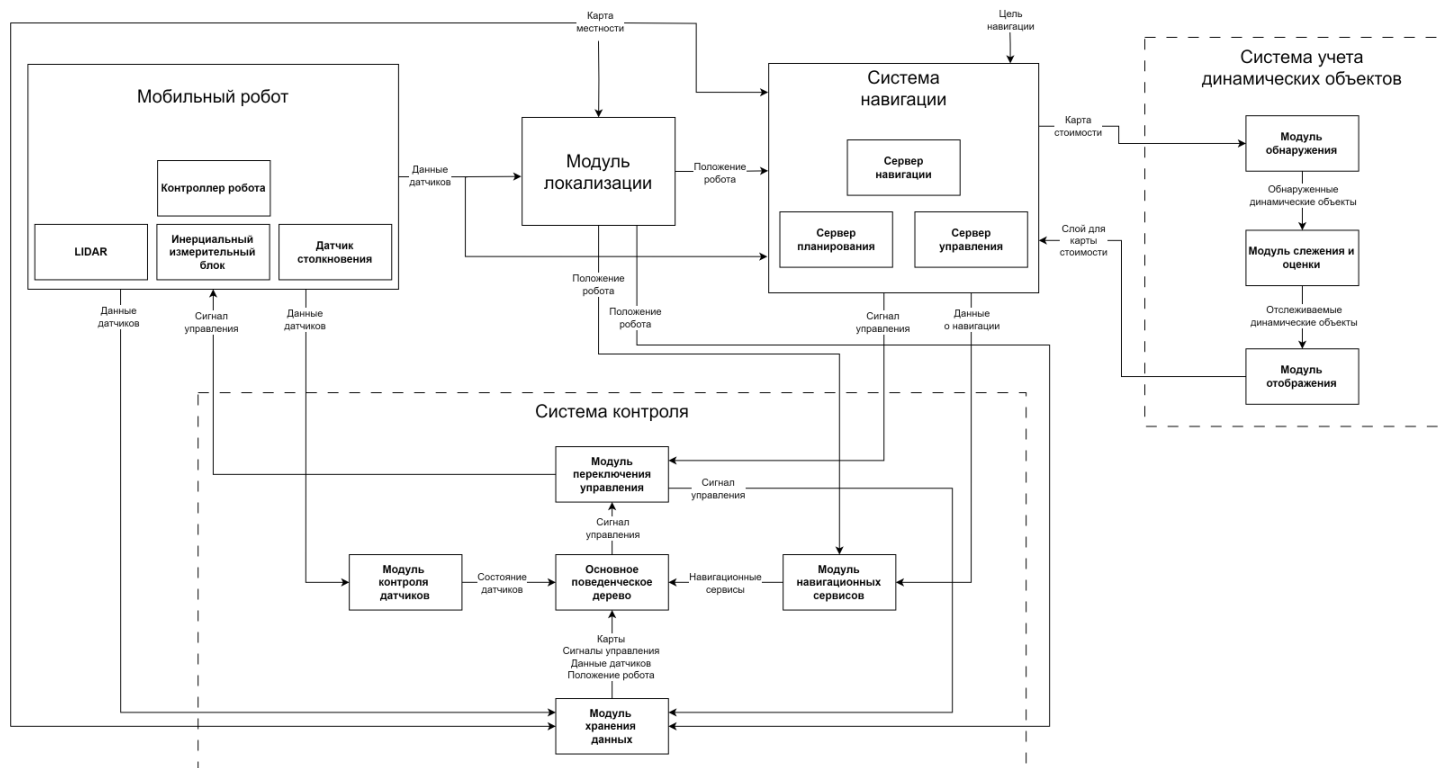
1. Анализ существующих решений для навигации в динамических условиях
2. Реализация высокоуровневой системы принятия решений
 - 2.1. Оценка состояния робота и системы навигации и соответствующая адаптация поведения
 - 2.2. Учет динамических объектов
3. Аппробация системы в среде имитационного моделирования

Существующие подходы

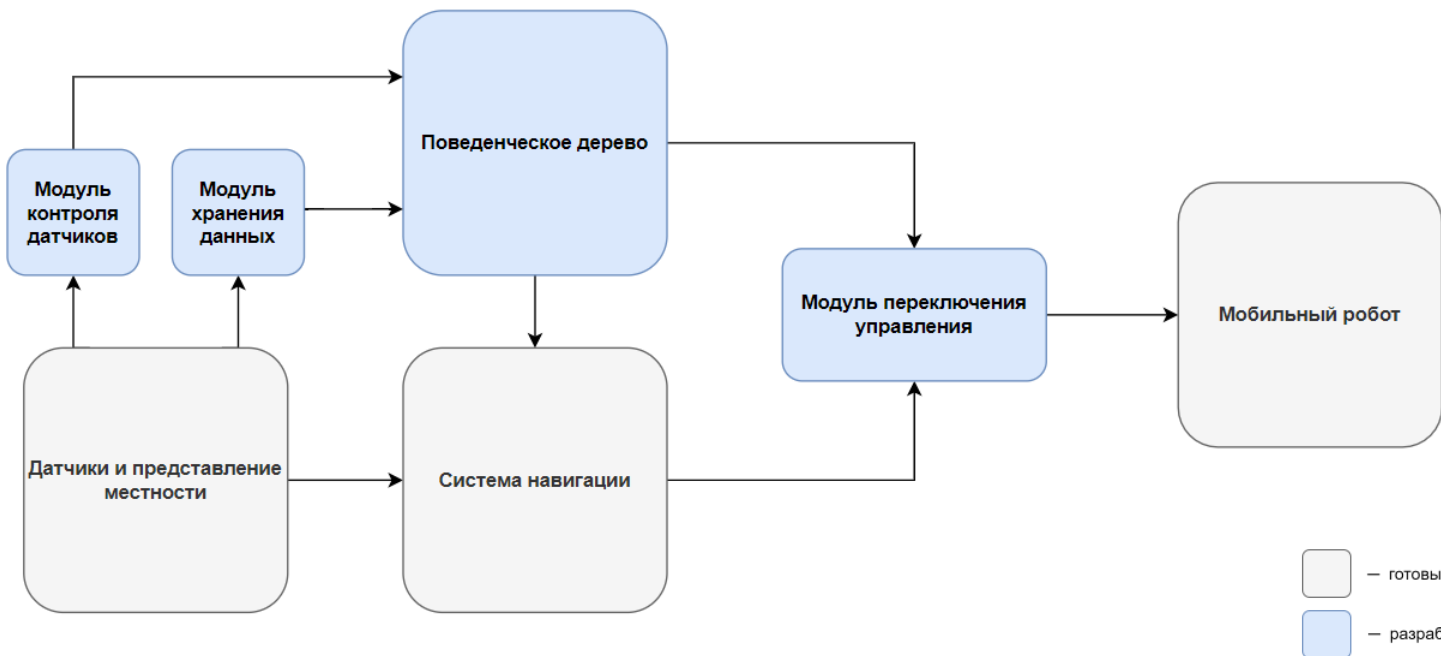


- Единая точка отказа системы
- Отсутствие слоя наблюдения за состоянием системы
- Динамические объекты обрабатываются как статические

Архитектура разработанной системы



Система контроля

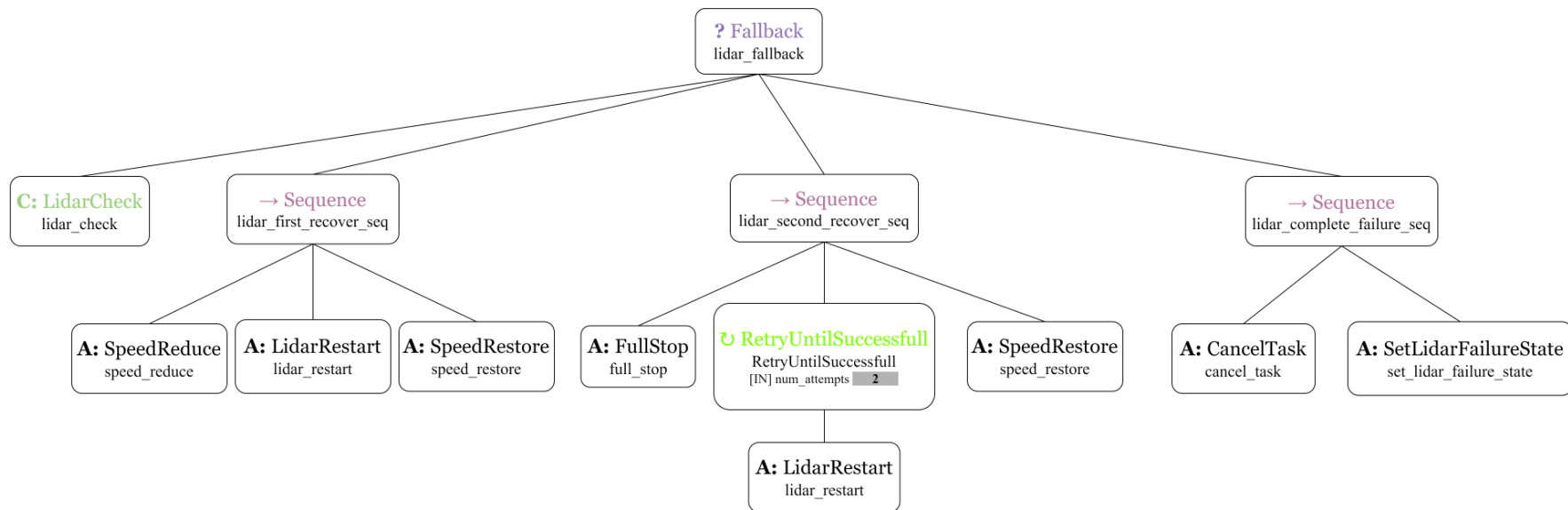


Поведенческое дерево

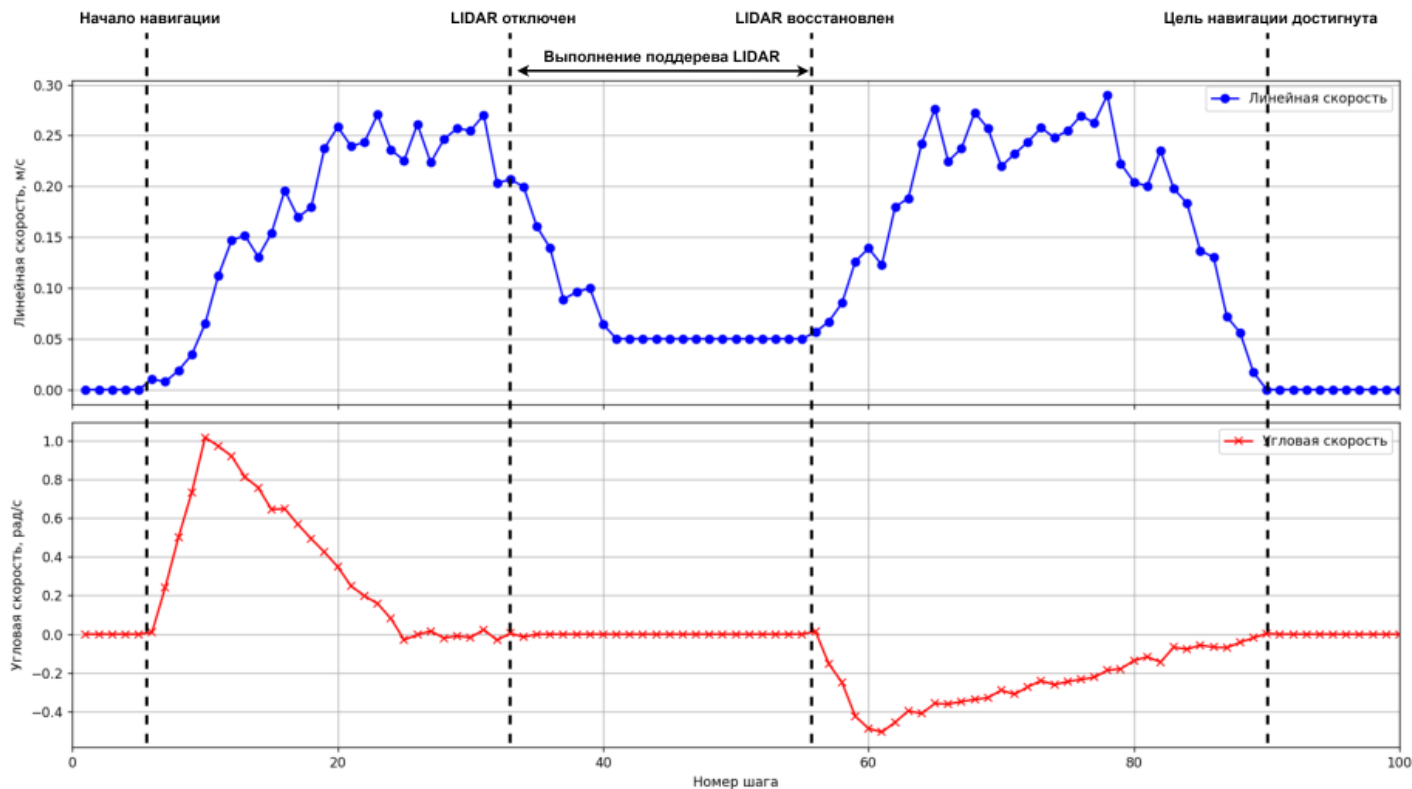


Поддерево LIDAR

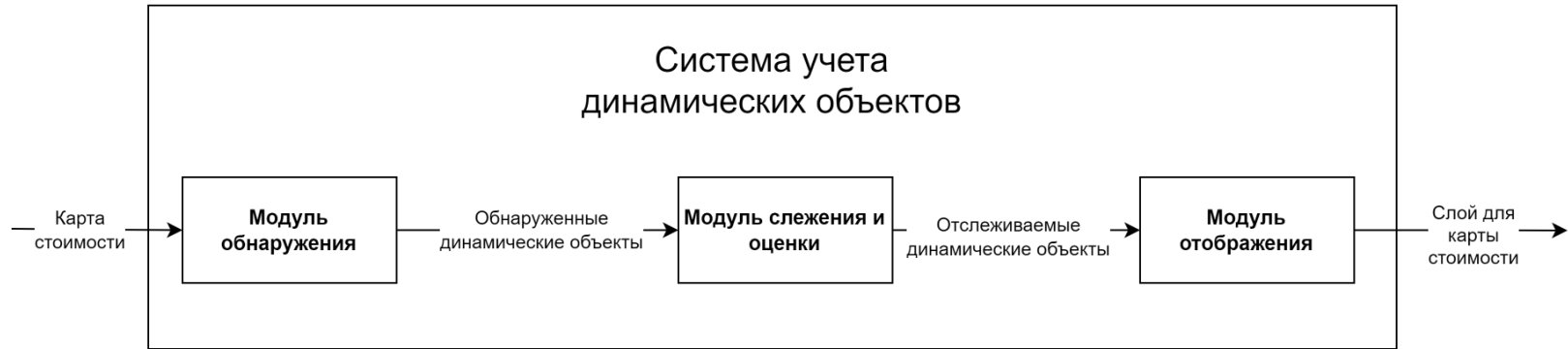
Программа Groot



Пример работы системы контроля



Система учета динамических объектов



Обнаружение динамических объектов ИТМО

Бегущие усредняющие
фильтры

Пороговые фильтры



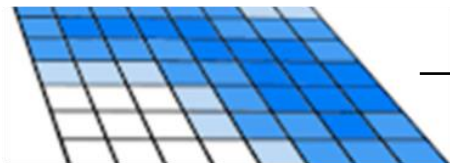
$$F_f(t+1) = \beta((1 - \alpha_f)F_f(t) + \alpha_f C(t)) + \frac{1 - \beta}{8} \sum_{i \in N} F_{f,i}(t)$$

$$F_s(t+1) = \beta((1 - \alpha_s)F_s(t) + \alpha_s C(t)) + \frac{1 - \beta}{8} \sum_{i \in N} F_{s,i}(t)$$

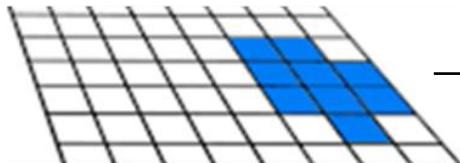
$$F_f(t) > c_1$$

$$F_f(t) - F_s(t) > c_2$$

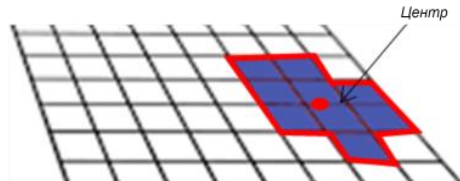
Исходная карта
стоимостей



Бинарная карта



Динамический объект



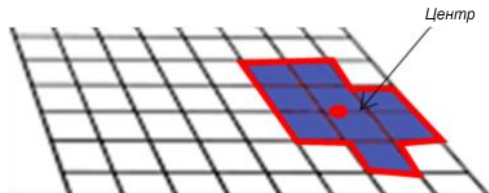
Слежение и оценка скорости

Слежение

Задача о назначении $\min \sum_{i \in A} \sum_{j \in B} C_{i,j} X_{i,j},$

где $C_{i,j}$ — стоимость сопоставления отслеживаемого объекта $i \in A$ обнаруженным объектом $j \in B$, X — булева матрица выбранных пар

Обнаруженный динамический объект

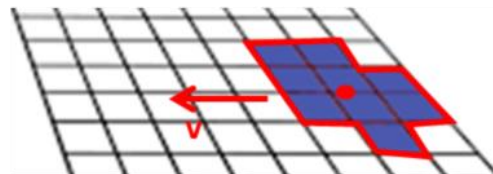


Оценка скорости

Фильтр Калмана для задачи слежения.
Вектор состояния:

$$x_k = \begin{bmatrix} p_k \\ v_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{k-1} + v_{k-1}dt + \frac{1}{2}\tilde{a}_k dt^2 \\ v_{k+1} + \tilde{a}_{k-1}dt \end{bmatrix}$$

Отслеживаемый динамический объект



Область штрафа вокруг объекта:

$$\Phi_{c, \Sigma_{front}, \Sigma_{back}}(q) = \delta(x_q) \Phi_{c, \Sigma_{front}}(q) + (1 - \delta(x_q)) \Phi_{c, \Sigma_{back}}(q),$$

где $q = (x_q, y_q)$ — координаты точки в глобальной системе координат, $\Phi_{c, \Sigma_{front}}(q)$ — функция Гаусса для зоны штрафа перед объектом, $\Phi_{c, \Sigma_{back}}(q)$ — функция Гаусса для зоны штрафа позади объекта, $\delta(x) = \mathbf{1}_{x \geq 0}(x)$ индикаторная функция для объединения гауссиан.

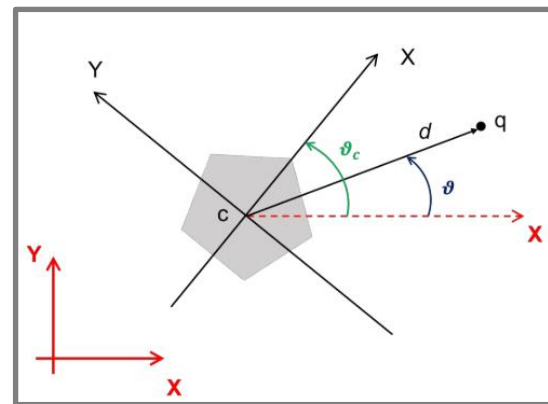
Функция Гаусса:

$$\Phi_{c, \Sigma}(q) = A \exp \left[-\frac{(\|q - c\|_2 \cos(\vartheta - \vartheta_c))^2}{2\sigma_x^2} - \frac{(\|q - c\|_2 \sin(\vartheta - \vartheta_c))^2}{2\sigma_y^2} \right]$$

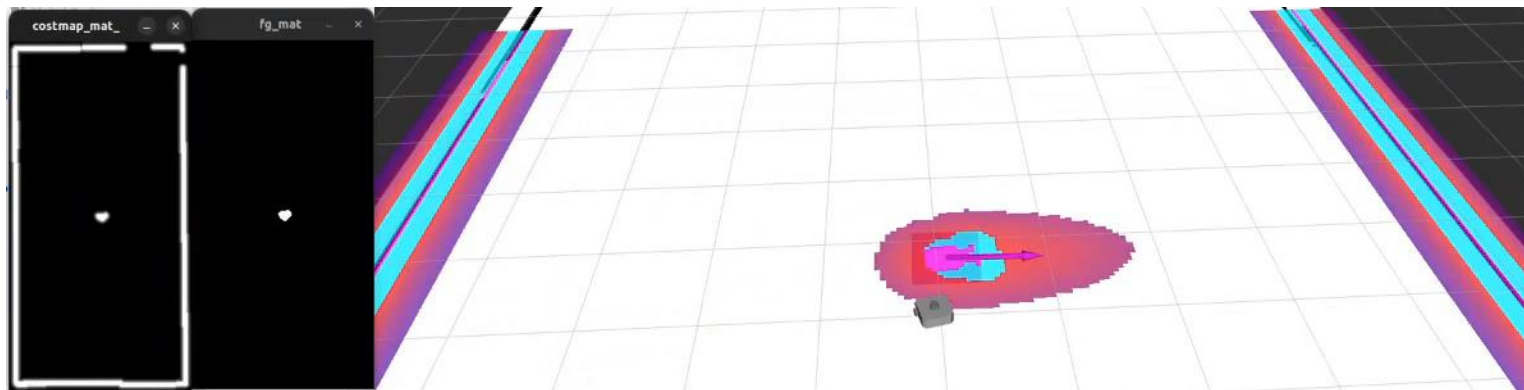
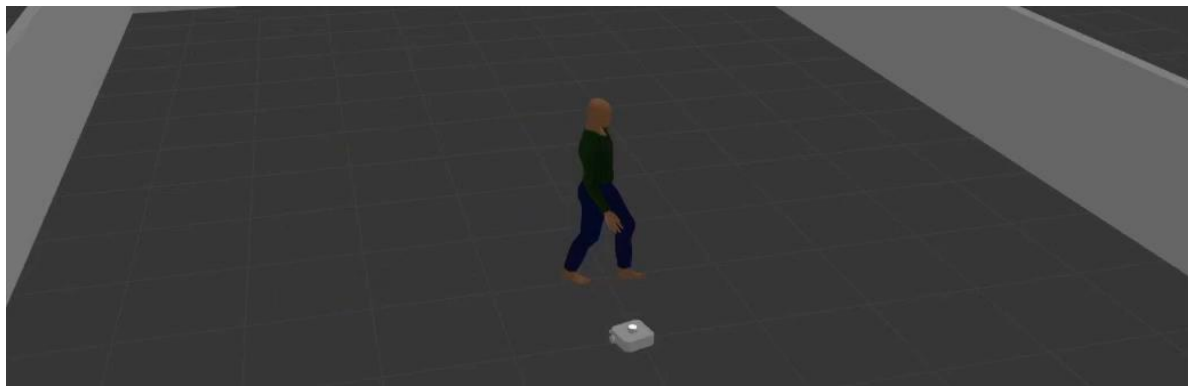
Дисперсии:

$$r = v_{\text{тек}} / v_{\text{макс}}$$

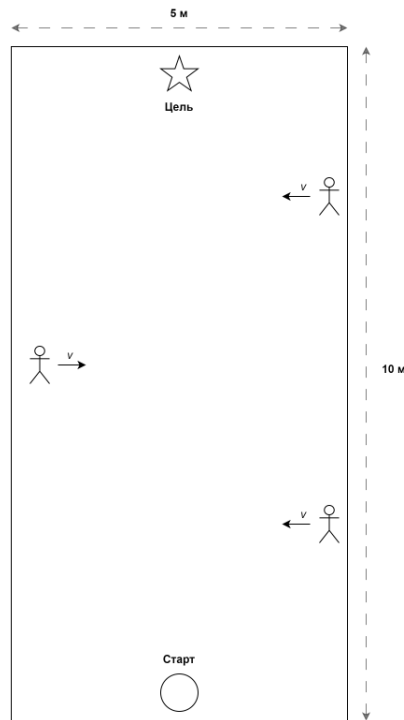
$$\begin{aligned} \sigma_{x_{back}}^2 &= (1 - r) \sigma_{x_{back}}^2 & \sigma_{y_{back}}^2 &= (1 - \frac{1}{4}) \sigma_{y_{back}}^2 \\ \sigma_{x_{front}}^2 &= (1 + r) \sigma_{x_{front}}^2 & \sigma_{y_{front}}^2 &= (1 - \frac{r}{2}) \sigma_{y_{front}}^2 \end{aligned}$$



Пример работы системы учета динамических объектов

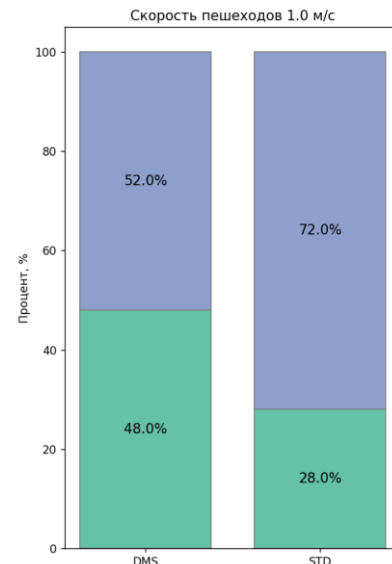
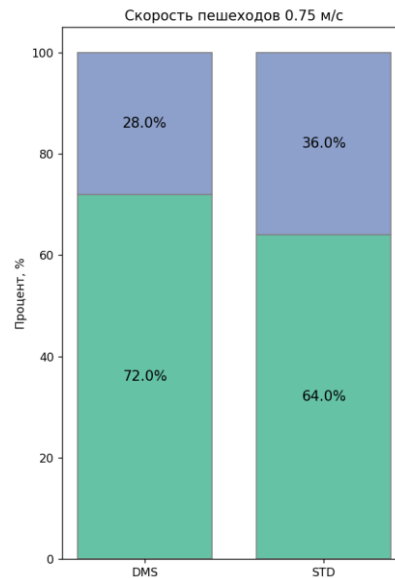
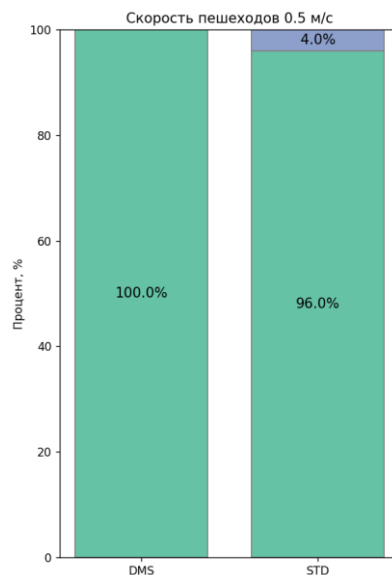


Тестирование системы учета динамических объектов



Успешная навигация

Столкновение





- Разработана система принятия решений повышающая автономность, надежность и безопасность в задаче навигации в динамическом окружении
- Система способна реагировать на сбой различных компонент и предсказывать движение динамических объектов



GitHub репозиторий

**Спасибо
за внимание!**

it'sMO *re than a*
UNIVERSITY