



Функционально- воксельный подход к решению задач группового движения роботов

РУКОВОДИТЕЛЬ: ТОЛОК АЛЕКСЕЙ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ
ЛАБОРАТОРИЯ 18

СРОК РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА: 2 ГОДА (2022-2023ГГ.).

СТАТУС ЗАЯВКИ: ЗАЯВКА НА ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРОЕКТА.

ДОКЛАДЧИК: ЛОКТЕВ МИХАИЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ

Участники МНШ:

2



№ п/п	ФИО	Год рождения	Должность	Ученая степень	Ученое звание	Лаб	email
1	Локтев Михаил Александрович	1989	с.н.с.	к.т.н.	-	18	m.loktev@stankin.ru
2	Анастасия Антоновна Сычёва	1995	м.н.с.	-	-	18	a.a.sycheva@mail.ru
3	Харланова Полина Михайловна	1994	м.н.с.	-	-	18	bounty007_94@mail.ru
4	Ксения Юрьевна Шутова	1997	инженер	-	-	18	shutova.k.u@yandex.ru
5	Андрейчик Николай Леонидович	1999	инженер	-	-	18	kolya_andreychik@mail.ru



Ожидаемые в конце второго года научные результаты:

3

В течение выдвигаемого срока планируется реализация программно-технической мультиагентной среды с препятствиями, отработка направленных движений на основе применения средств технического зрения и программной реализации синтеза алгоритмов моделирования области ORCA и градиентного движения к цели в динамической среде на основе ФВ-моделирования для агентных групп численностью более трёх агентов.

За истекший период 2020-2021 гг. опубликовано и принято к печати:

ВАК: 4

SCOPUS: 7

РИНЦ: 3



ПЕРСПЕКТИВЫ ВОКСЕЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

4

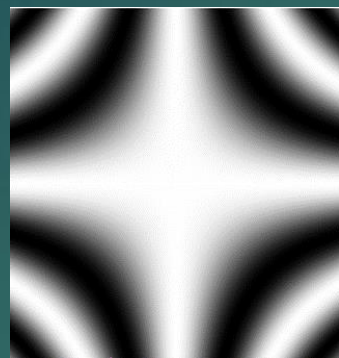
Функционально-воксельное моделирование (ФВМ)

Достоинства:

1. ФВ-модель имеет обратную связь с аналитической функцией в виде её локального прототипа.
2. Каждая точка области обеспечена локальными геометрическими характеристиками.
3. Возможность многомерного представления.

Недостатки:

1. Вычислимая точность зависит от градации палитры и разрешения образа
2. Сложность перемасштабирования области
3. Возрастает объём хранения данных



$$F(x, y) = 0$$

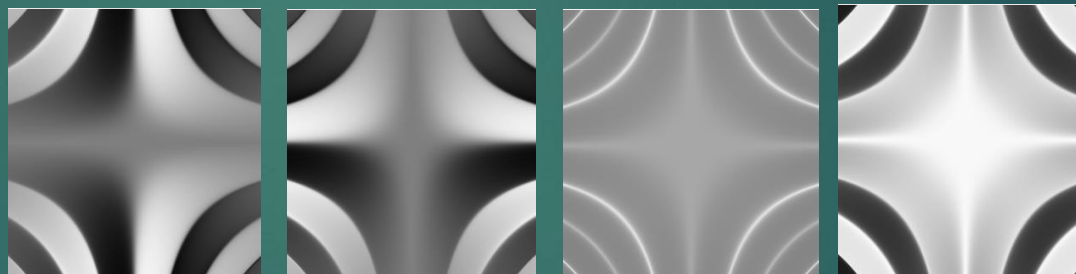
Исходная функция неявного вида

$$F(x, y) = z$$

Область значений функции

$$\vec{n}(n_1, n_2, n_3, n_4)$$

Нормальное поле вектор-функции



Воксельное представление компонентов нормали

$$n_1x + n_2y + n_3z + n_4 = 0$$

Локальная функция неявного вида

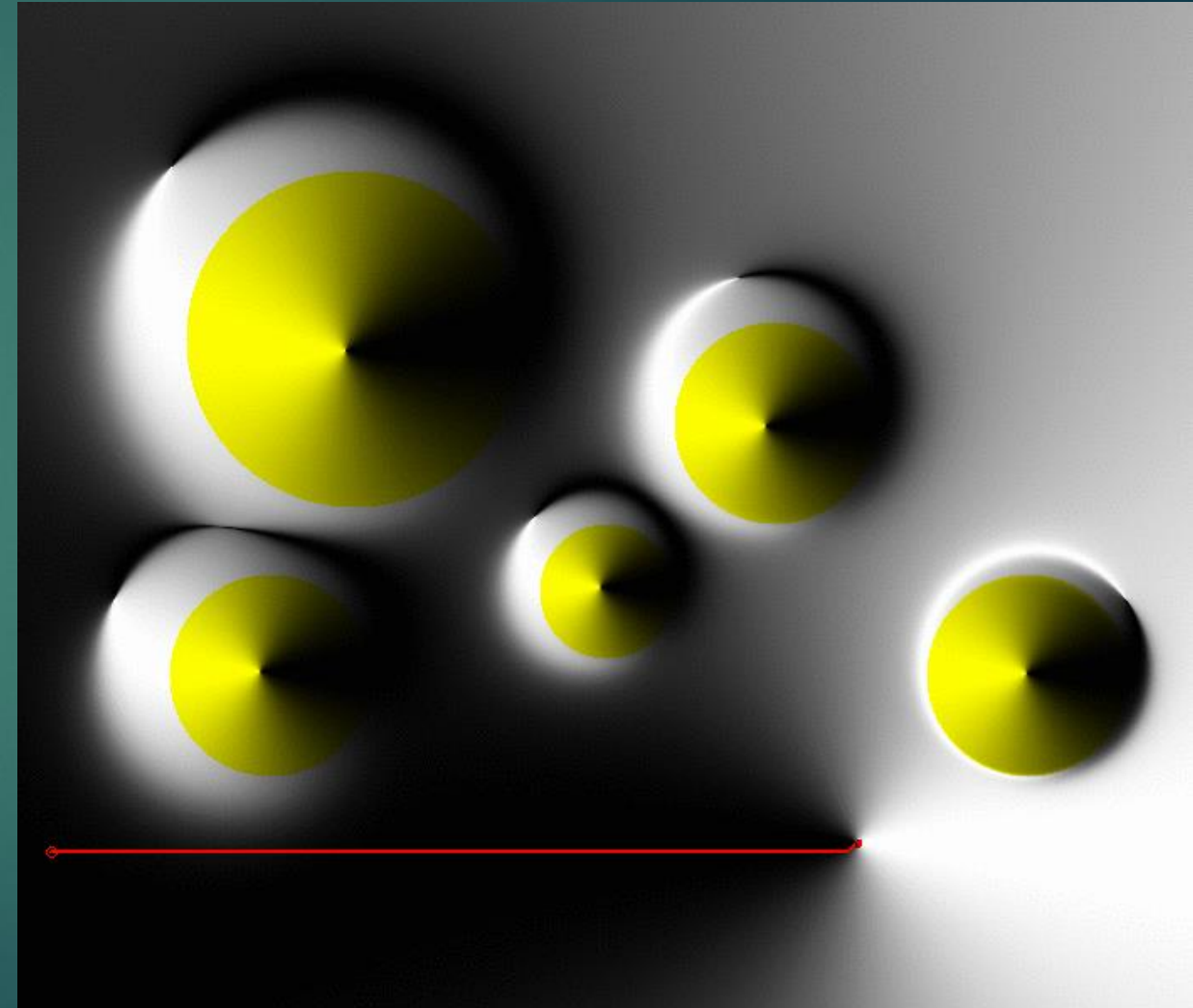
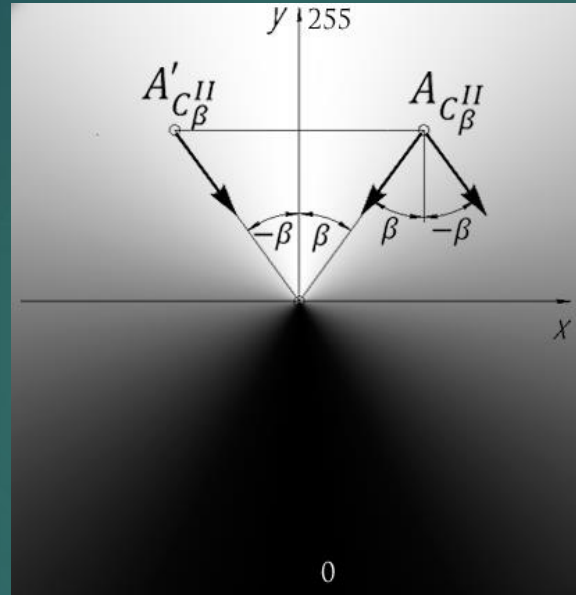
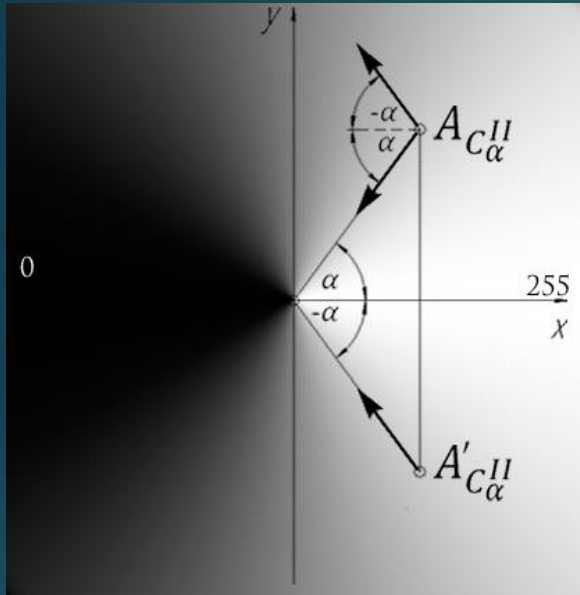
$$z = -\frac{n_1}{n_3}x - \frac{n_2}{n_3}y - \frac{n_4}{n_3}$$

Область локальных значений функции

**Разработка вычислителя для решения
динамических задач поиска пути на основе
градиентного подхода функционально-
воксельного моделирования**

Докладчик: Локтев Михаил Александрович

Градиентное движение на основе ФВМ

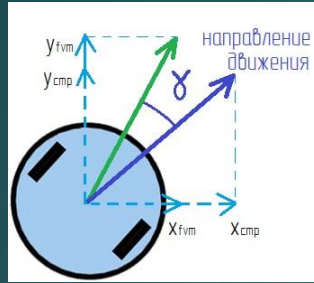


	$C_{\alpha_{A_0}(i,j)}^{II} > \frac{2P}{3}$	$\frac{P}{3} < C_{\alpha_{A_0}(i,j)}^{II} \leq \frac{2P}{3}$	$C_{\alpha_{A_0}(i,j)}^{II} \leq \frac{P}{3}$
$C_{\beta_{A_0}(i,j)}^{II} \leq \frac{P}{3}$	$i-1, j+1$	$i, j+1$	$i+1, j+1$
$\frac{P}{3} < C_{\beta_{A_0}(i,j)}^{II} \leq \frac{2P}{3}$	$i-1, j$	$A_0(i,j)$ (Текущее положение)	$i+1, j$
$C_{\beta_{A_0}(i,j)}^{II} > \frac{2P}{3}$	$i-1, j-1$	$i, j-1$	$i+1, j-1$

Симуляция в среде Webots градиентного движения на основе ФВМ

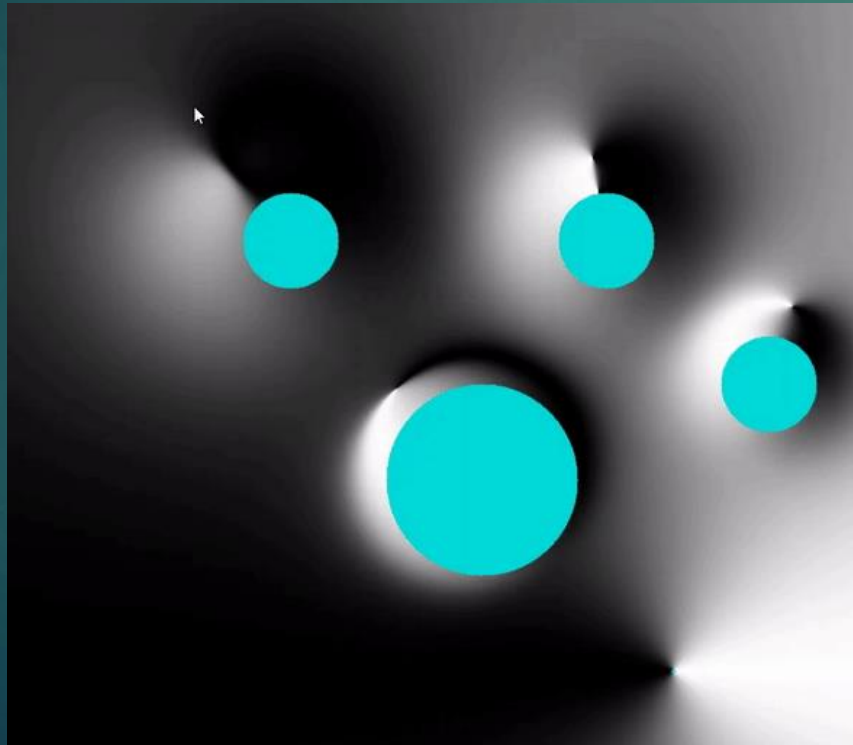
7

Поворот на основе ФВМ-информации



$$\sin \gamma = \frac{y_{cnp}x_{fvm} - x_{cnp}y_{fvm}}{\sqrt{(x_{fvm}^2 + y_{fvm}^2)(x_{cnp}^2 + y_{cnp}^2)}}$$

Реализация на основе графических образов ФВМ



Реализация в среде Webots



Для реализации динамических изменений на сцене необходимо иметь возможность не только R-функционального объединения или пересечение, но и действие противоположное ему.

ПРОБЛЕМА: Формулы R-функций не позволяют выразить подкоренное выражение, т.е. аналитически выразить аргумент X через Z и Y практически невозможно, не потеряв знак, что ограничивает метод в реализации различных условий движения.

$$Z = X + Y - \sqrt{X^2 + Y^2}$$

$$Z^2 = X^2 + Y^2 - \left(\sqrt{X^2 + Y^2}\right)^2$$

ЗАДАЧА: Для моделирования динамических изменений на сцене (перемещение или появление новых целей и препятствий), с помощью ФВМ появилась требуется разработать специальный инструмент - Law-вычислитель функционально-воксельных образов.

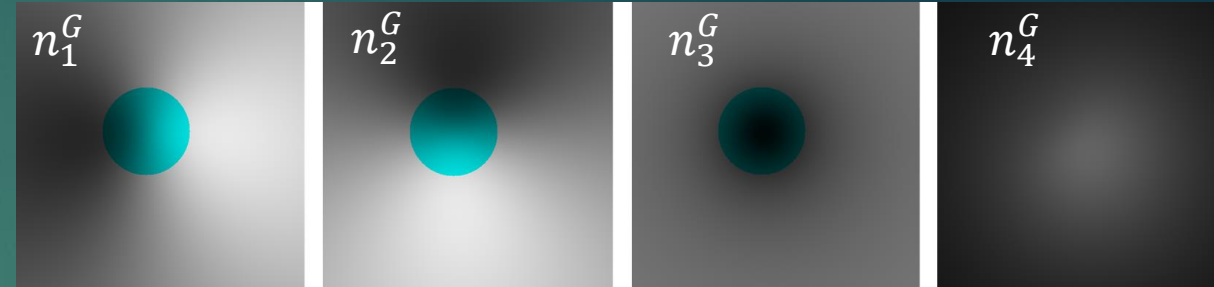
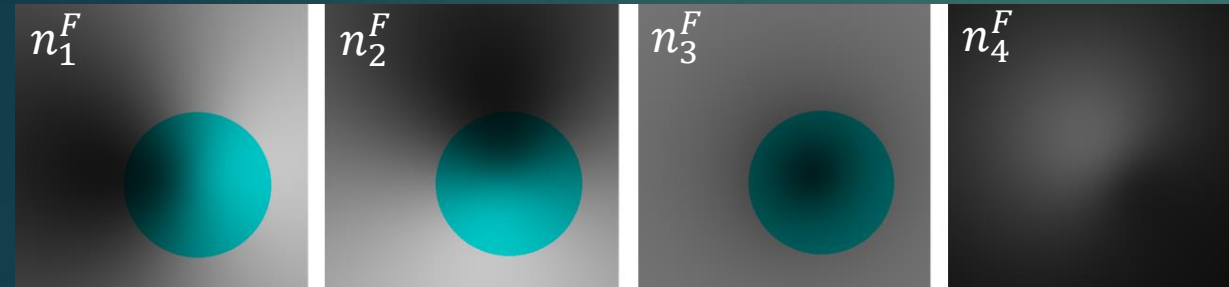
Построение промежуточного образа

Основной задачей вычислителя является получения обратного выражения R-функции

Рассмотрим пример, возьмем 2 окружности:

$$F(x, y) = (x - 1)^2 + (y - 1)^2 - 1$$

$$G(x, y) = (x + 0.2)^2 + (y + 0.2)^2 - 0.36$$



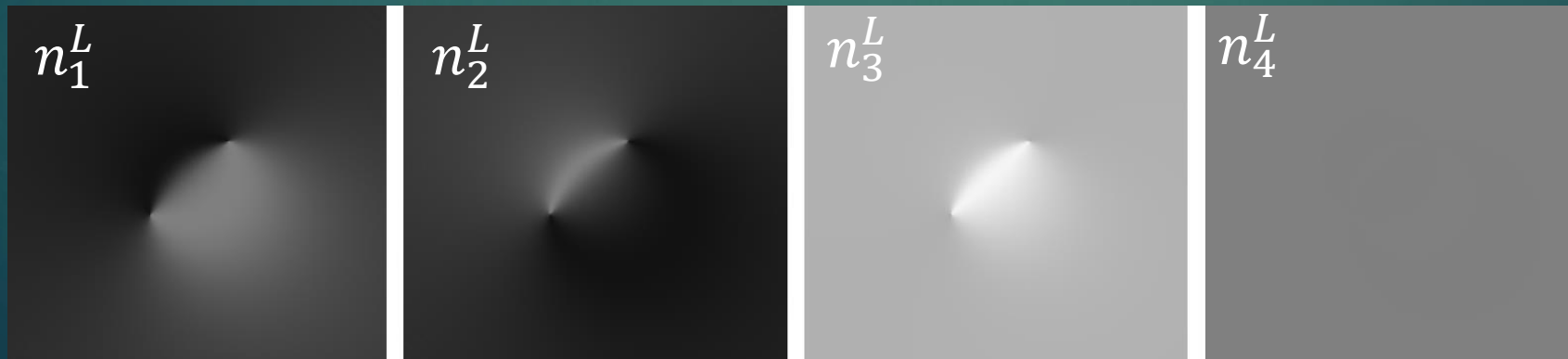
Запишем функции F и G по принципу функционально-воксельной модели в виде локальных функций

$$Z^F(x, y) = -\frac{n_1^F}{n_3^F}x - \frac{n_2^F}{n_3^F}y - \frac{n_4^F}{n_3^F}$$

$$Z^G(x, y) = -\frac{n_1^G}{n_3^G}x - \frac{n_2^G}{n_3^G}y - \frac{n_4^G}{n_3^G}$$

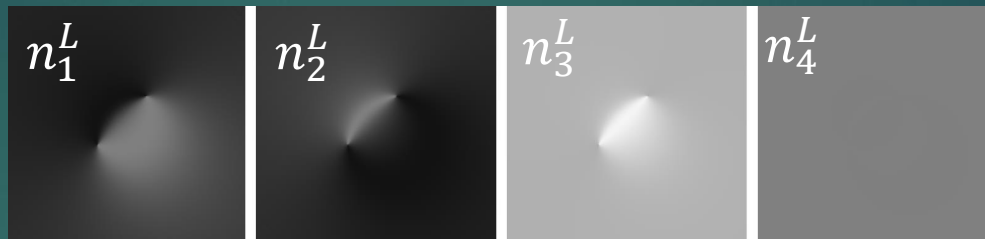
Если в качестве аргументов в R- функцию $Z = X + Y - \sqrt{X^2 + Y^2}$ будут поступать значения Z^F и Z^G то получим:

$$L(Z^F, Z^G) = Z^F + Z^G - \sqrt{(Z^F)^2 + (Z^G)^2}$$



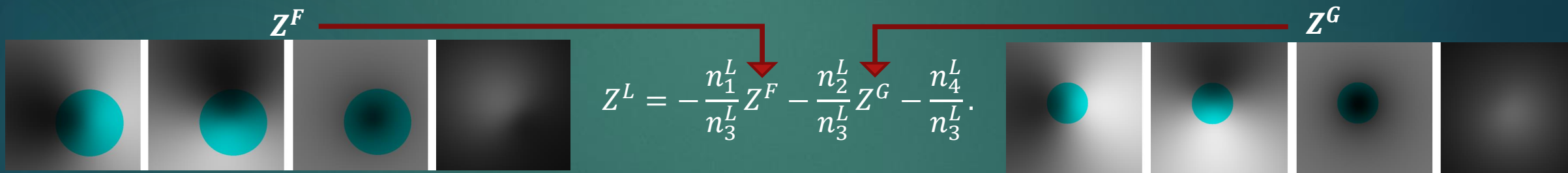
M-образы полученные с помощью Law-вычислителя

Получаем описание закона пересечения двух объектов, описанный на области локальными функциями с коэффициентами $n_1^L, n_2^L, n_3^L, n_4^L$.

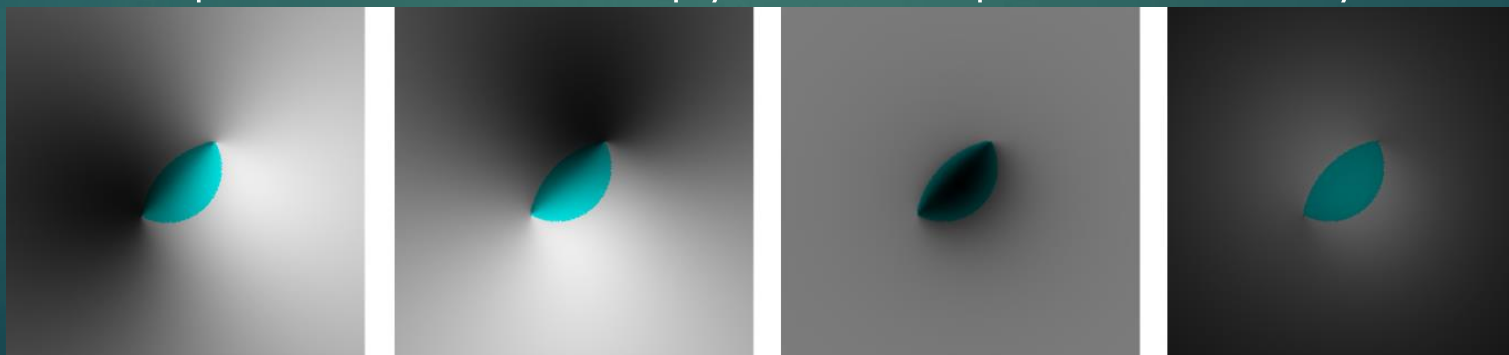


Получаем в каждой точке области следующую локальную функцию: $n_1^L x + n_2^L y + n_3^L z + n_4^L = 0$.

Выразим значение $z = -\frac{n_1^L}{n_3^L} x - \frac{n_2^L}{n_3^L} y - \frac{n_4^L}{n_3^L}$. При условии, что $x = Z^F$ и $y = Z^G$, можем получить функцию объединения $Z^{F \wedge G} = Z^L$ через Law-вычисления



Через эти образы выразим значение функции пересечения двух областей Z^L



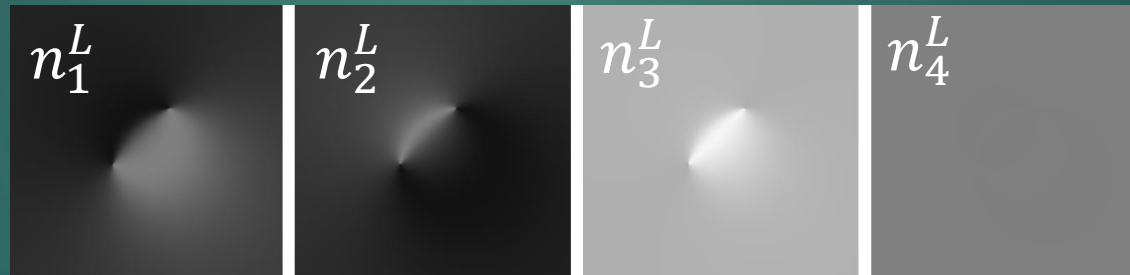
Выразим оставшиеся значения x : $x = -\frac{n_2^L}{n_1^L}y - \frac{n_3^L}{n_1^L}z - \frac{n_4^L}{n_1^L}$, подставим значения Z^G и Z^L

Z^G

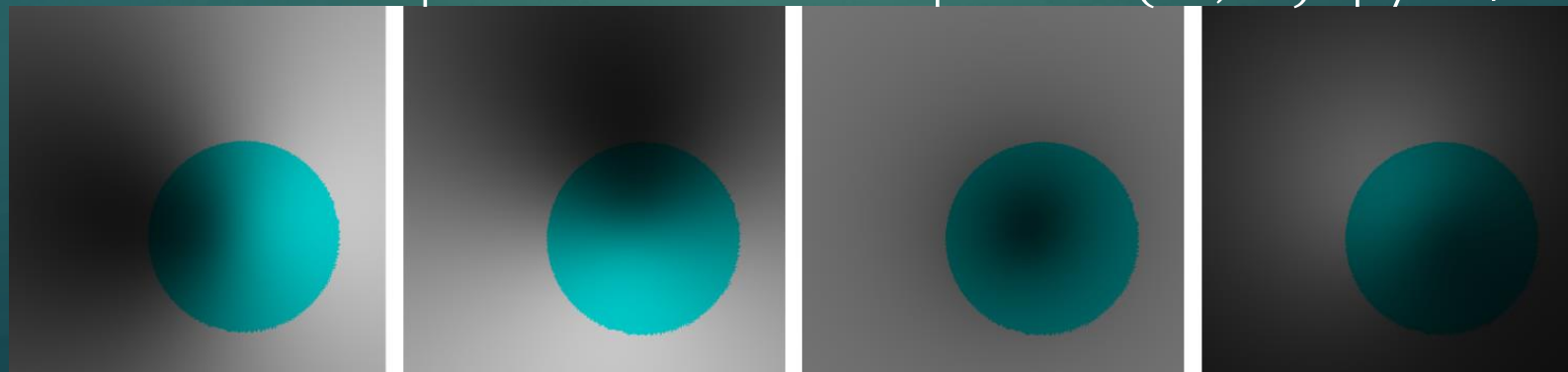
Z^L

$$L^F = -\frac{n_2^L}{n_1^L}Z^G - \frac{n_3^L}{n_1^L}Z^L - \frac{n_4^L}{n_1^L}$$

Промужеточные образы вычислителя — L



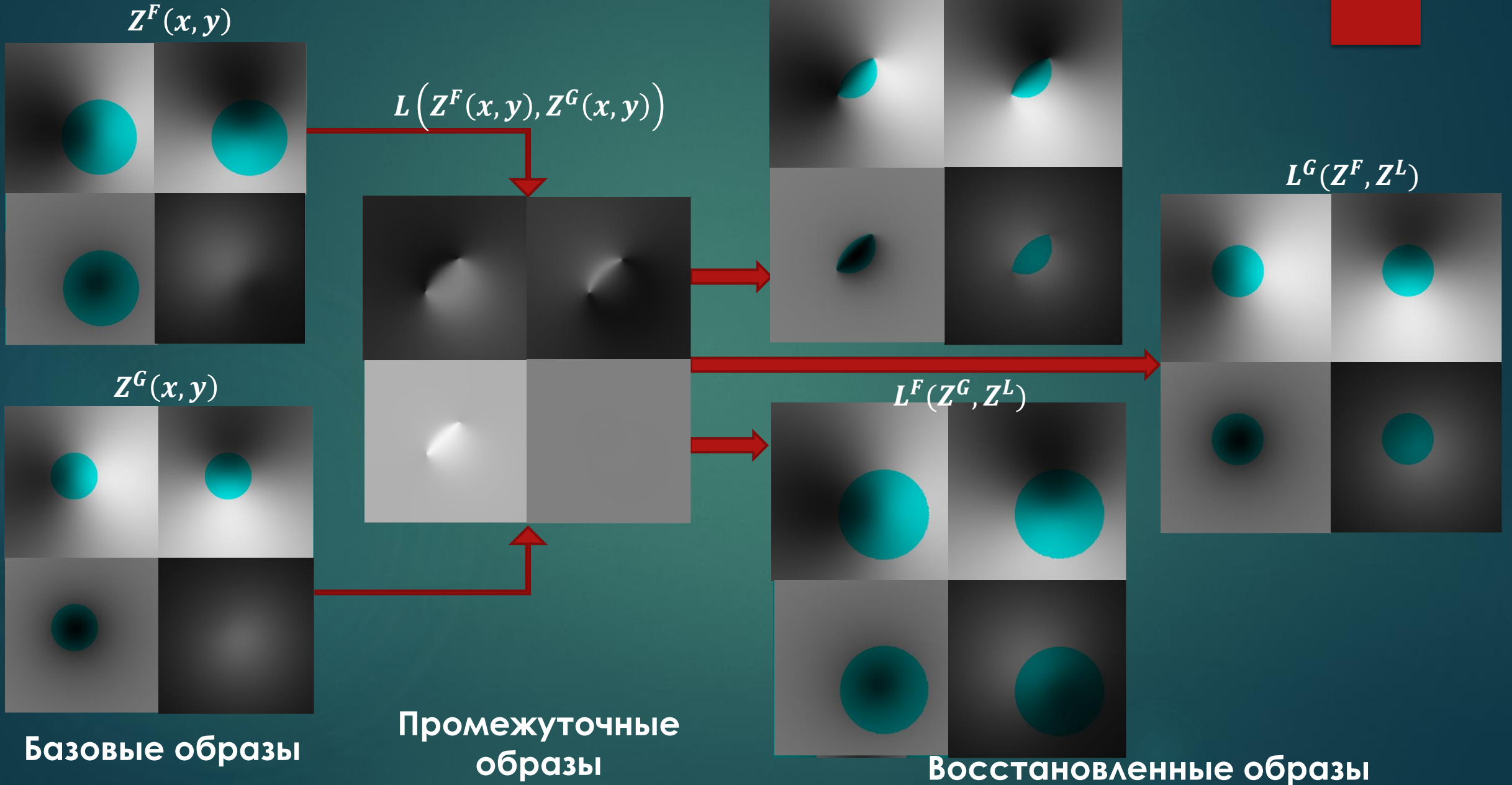
Восстановленные через вычислитель образы $L^F(Z^G, Z^L)$ функции $F(x, y)$

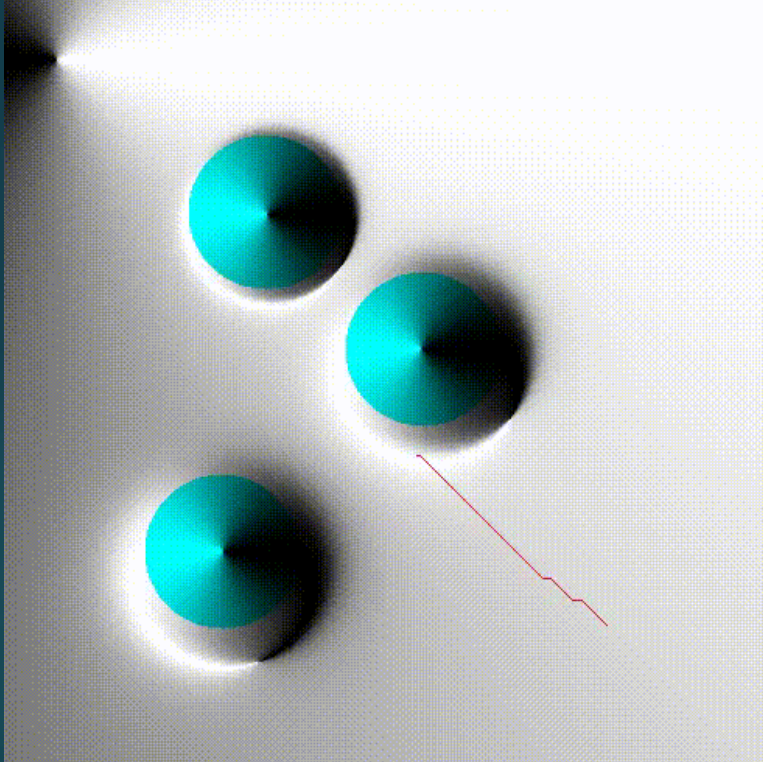


Общая схема Law-вычислителя

$Z^L(Z^F, Z^G)$

12





Выводы

- Произведены первые адаптации прикладных алгоритмов ФВМ в среде имитационного моделирования Webots, что имеет значения при апробации разработанных алгоритмов.
- Разработанный Law-вычислитель является новым подходом для моделирования динамически изменяемых сред навигации маршрутов функционально-воксельным методом.
- Предлагаемый инструмент имеет важное прикладное значение в решении задач R-функционального моделирования геометрических объектов и их дальнейшего применения.

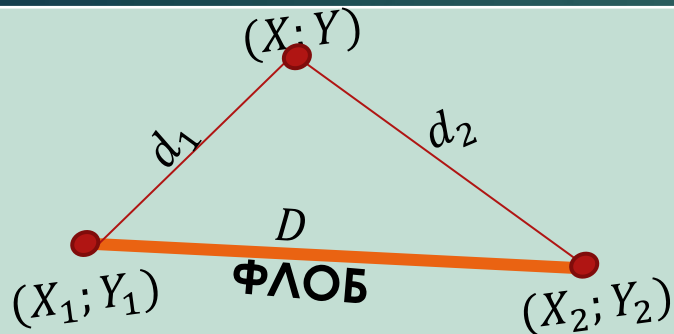
Планы на будущее

- Планируется продолжить исследования и разработки по адаптации вычислителя под различные ситуации динамического изменения среды.



ПРИМЕНЕНИЕ ФУНКЦИИ ЛОКАЛЬНОГО ОБНУЛЕНИЯ В ЗАДАЧАХ ДВИЖЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ

Сычева Анастасия Антоновна
м.н.с., лаборатория 18

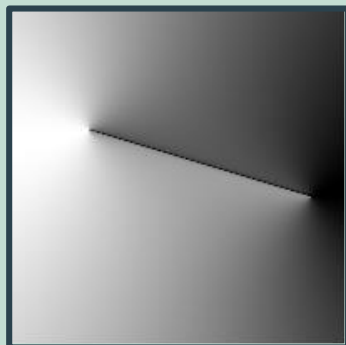


$$z = d_1 + d_2 - D$$

$$D = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2}$$

$$d_1 = \sqrt{(X - X_1)^2 + (Y - Y_1)^2}$$

$$d_2 = \sqrt{(X - X_2)^2 + (Y - Y_2)^2}$$

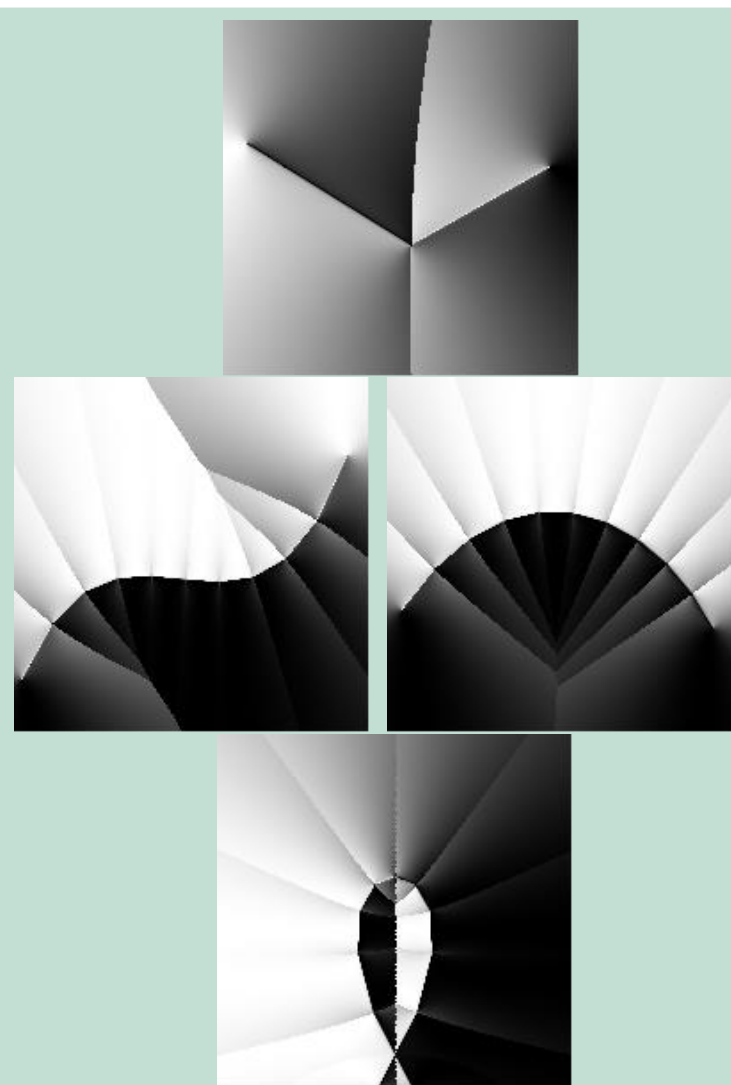


$z = 0$ – точка лежит на отрезке

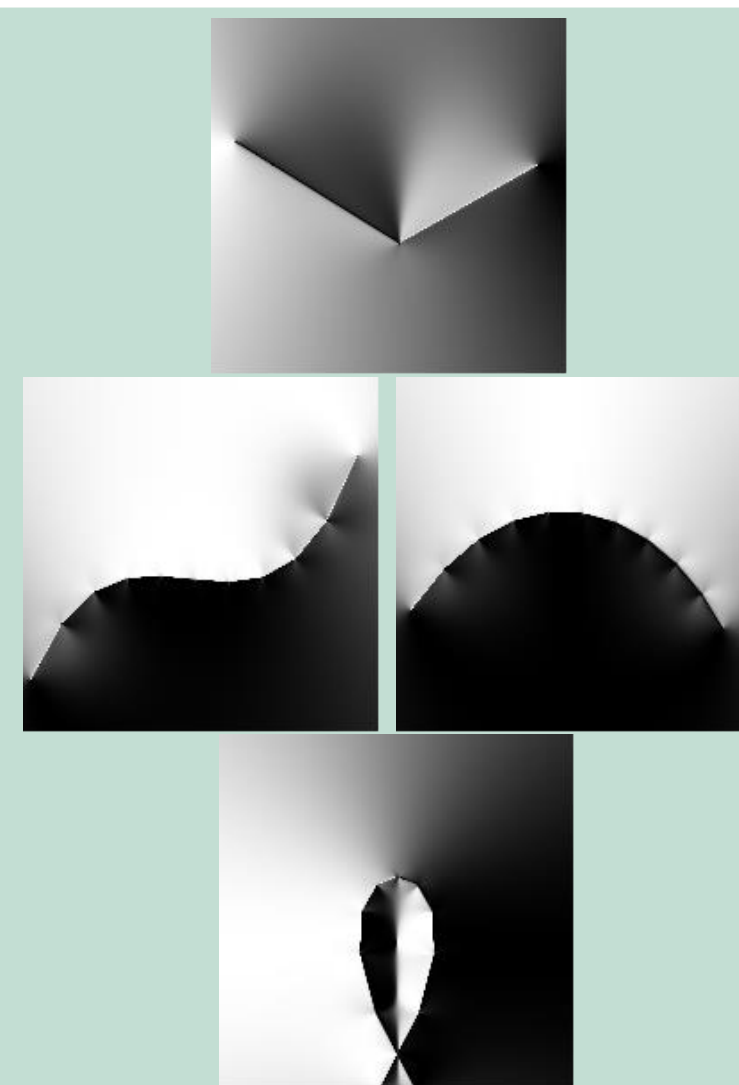
$z > 0$ – точка вне отрезка

(т. е. на положительной области)

линейное пересечение

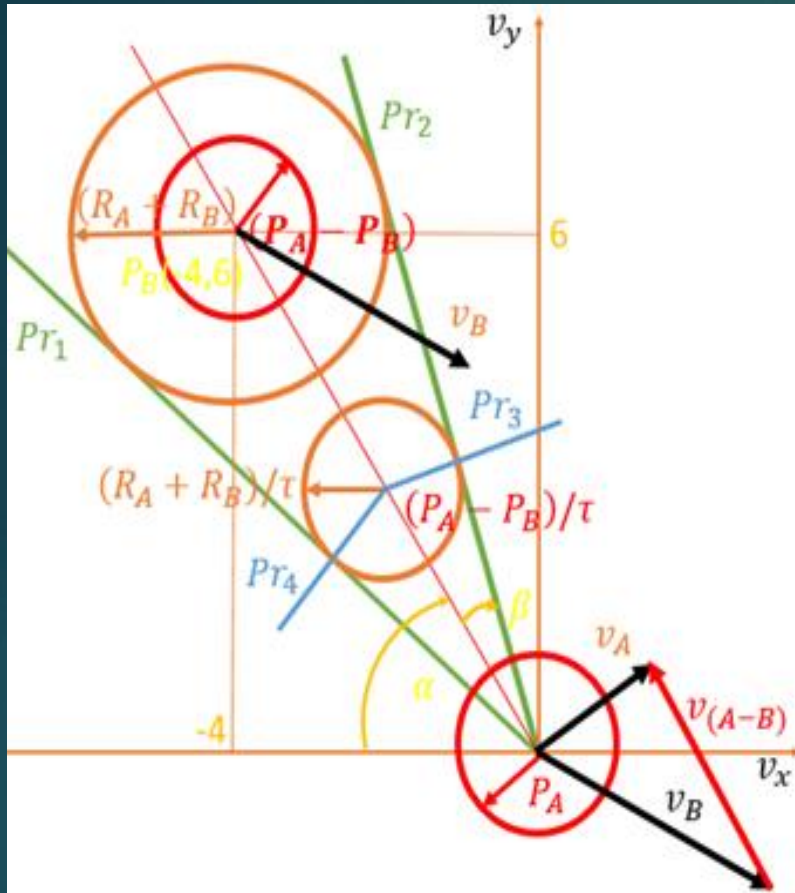


квадратичное пересечение



ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ОБЛАСТИ ВОЗМОЖНОГО СТОЛКНОВЕНИЯ

16



- векторы v_A ($v_{Ax} = 1.5, v_{Ay} = 1.0$) и v_B ($v_{Bx} = 3.0, v_{By} = -1.5$) – начальные скорости роботов
- вектор сближения – разность векторов начальных скоростей: $v_{(A-B)}$ ($v_{(A-B)x} = -1.5, v_{(A-B)y} = 2.5$)
- точка $(P_A - P_B)$ - разность координат центров агентов
- Окружность с центром в точке $(P_A - P_B)$ радиусом $(R_A + R_B)$.
- Прямые $Pr_1(x, y)$ и $Pr_2(x, y)$ касательные из начала координат, определяют зону возможного столкновения:

$$Pr_1(x, y) = y - \operatorname{tg}(\alpha + \beta)x, Pr_2(x, y) = \operatorname{tg}(\alpha - \beta)x - y.$$

$$\alpha = \operatorname{arctg}\left(\frac{y_B}{x_B}\right), \beta = \operatorname{arccos}\left(\frac{\sqrt{(x_B^2 + y_B^2) - (R_A + R_B)^2}}{\sqrt{x_B^2 + y_B^2}}\right),$$

- $\tau = 2.0$ - промежуток заведомого (запасного) времени для которого требуется определить область возможных столкновений.

- окружность с центром $(P_A - P_B)/\tau$ радиусом $(R_A + R_B)/\tau$ определяет ближайшую к роботу A границу зоны столкновения с роботом B на промежутке времени τ .

- перпендикуляры, опущенные на прямые Pr_1, Pr_2 :

$$Pr_3(x, y) = \left(y - \frac{y_B}{\tau}\right) - \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{2} + \alpha - \beta\right)\left(x - \frac{x_B}{\tau}\right),$$

$$Pr_4(x, y) = \left(y - \frac{y_B}{\tau}\right) - \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{2} + \alpha + \beta\right)\left(x - \frac{x_B}{\tau}\right).$$

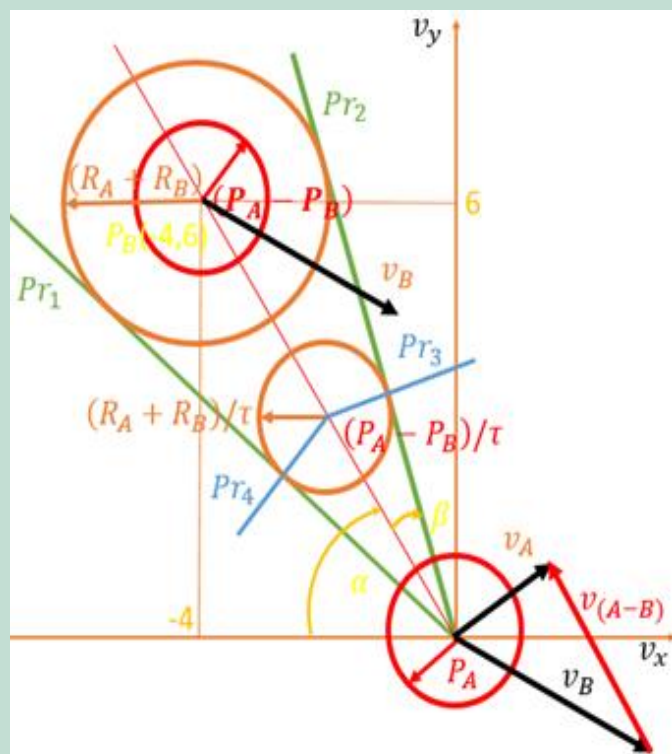
Точка $(v_{(A-B)x}, v_{(A-B)y})$ располагается в области ограниченной Pr_1, Pr_2, Pr_3 и Pr_4 если:

1. $Pr_1(v_{(A-B)x}, v_{(A-B)y}) > 0$ и $Pr_2(v_{(A-B)x}, v_{(A-B)y}) > 0$
2. $Pr_3(v_{(A-B)x}, v_{(A-B)y}) \geq 0$ или $Pr_4(v_{(A-B)x}, v_{(A-B)y}) \geq 0$.
3. $(R_A/\tau + R_B/\tau)^2 - (v_{(A-B)x} + x_B/\tau)^2 - (v_{(A-B)y} - y_B/\tau)^2 \geq 0$

При выполнении 1 и 2 или 1 и 3 условий необходимо найти направления нормали \vec{n} к ближайшей границе области столкновений и вектор корректировки скорости \vec{w} робота A .

ПРОБЛЕМА ПОСТРОЕНИЯ ОБЛАСТИ СТОЛКНОВЕНИЯ РОБОТОВ В АЛГОРИТМЕ ORCA

17



Дано:

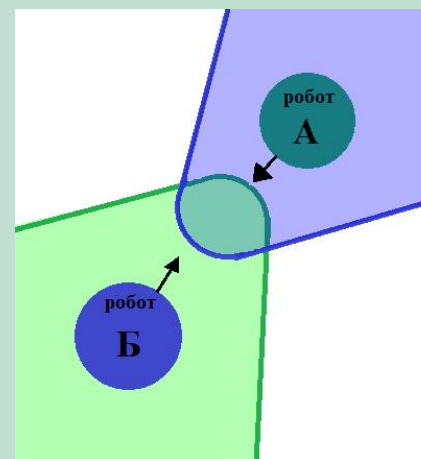
- векторы v_A и v_B – начальные скорости роботов радиуса R_A и R_B с центрами в т. P_A и P_B .
- τ – коэффициент запаса времени

Найти:

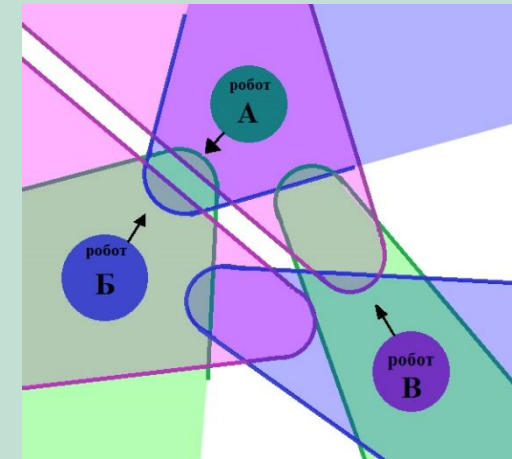
- направления нормали \vec{n} к ближайшей границе области столкновений,
- вектор корректировки скорости \vec{w} робота

Необходимо определить:

вектор сближения $v_{(A-B)}$, окружность радиуса $(R_A + R_B)$ с центром в т. $(P_A - P_B)$, окружность с центром $(P_A - P_B)/\tau$ радиусом $(R_A + R_B)/\tau$ для учета запаса времени, касательные прямые Pr_1 и Pr_2 , перпендикуляры Pr_3 и Pr_4 к касательным Pr_1 и Pr_2 , истинность 3-х условий принадлежности текущей точки области возможного столкновения



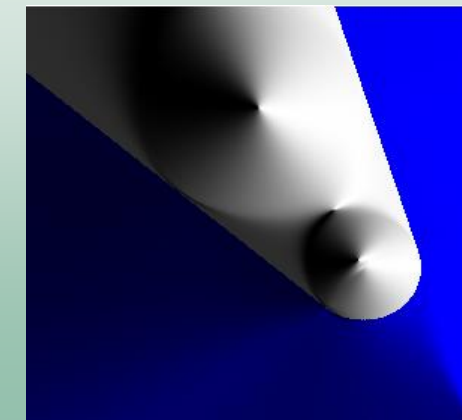
1 робот –
2 области



3 робота –
6 областей

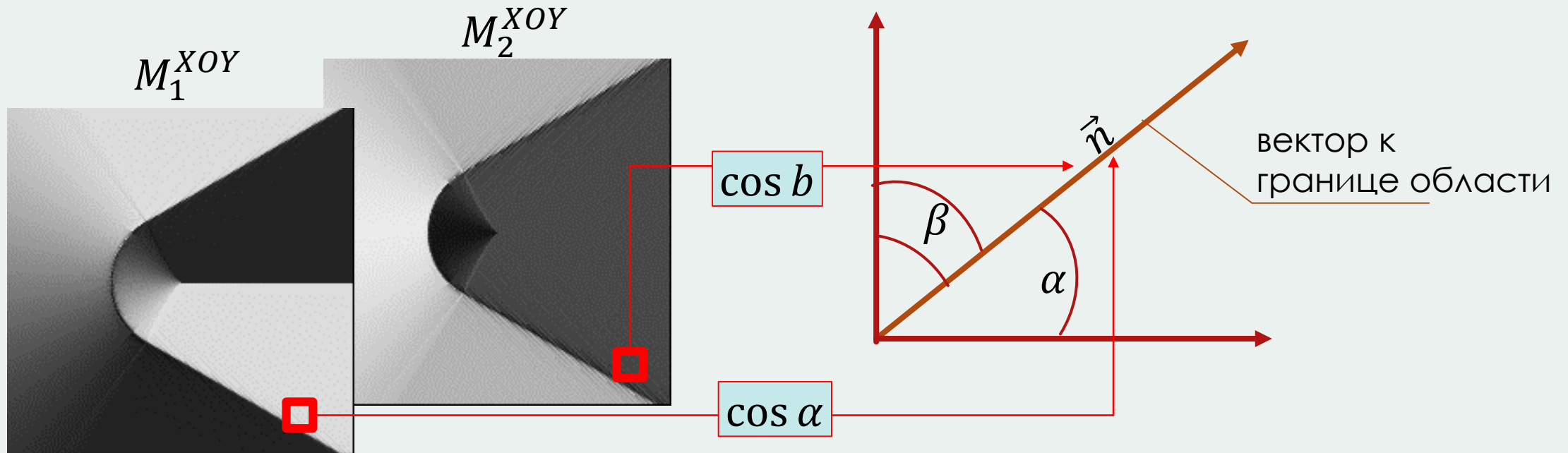
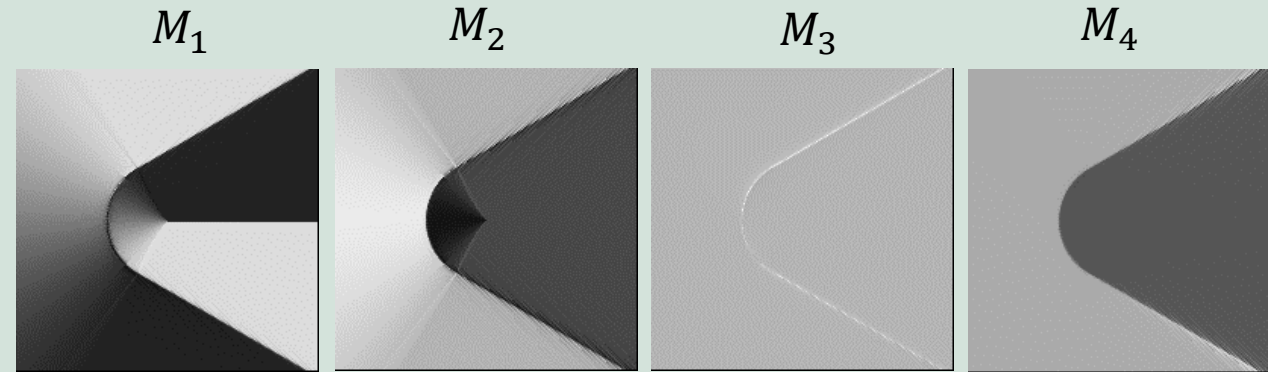
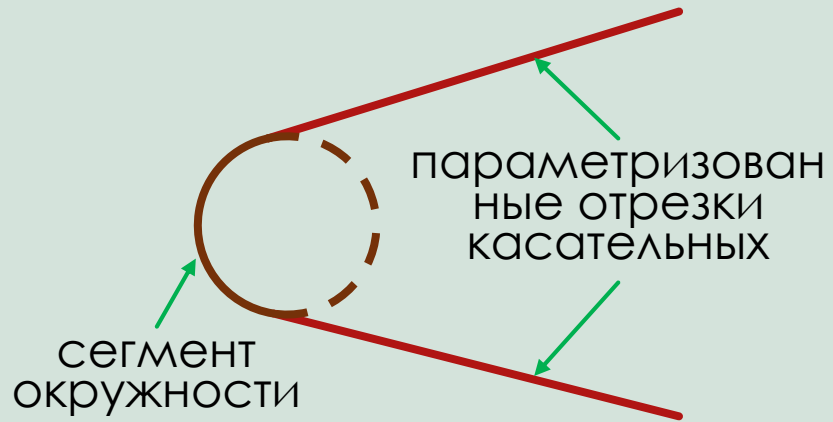
Искомая
геометрия

R-функциональная
модель



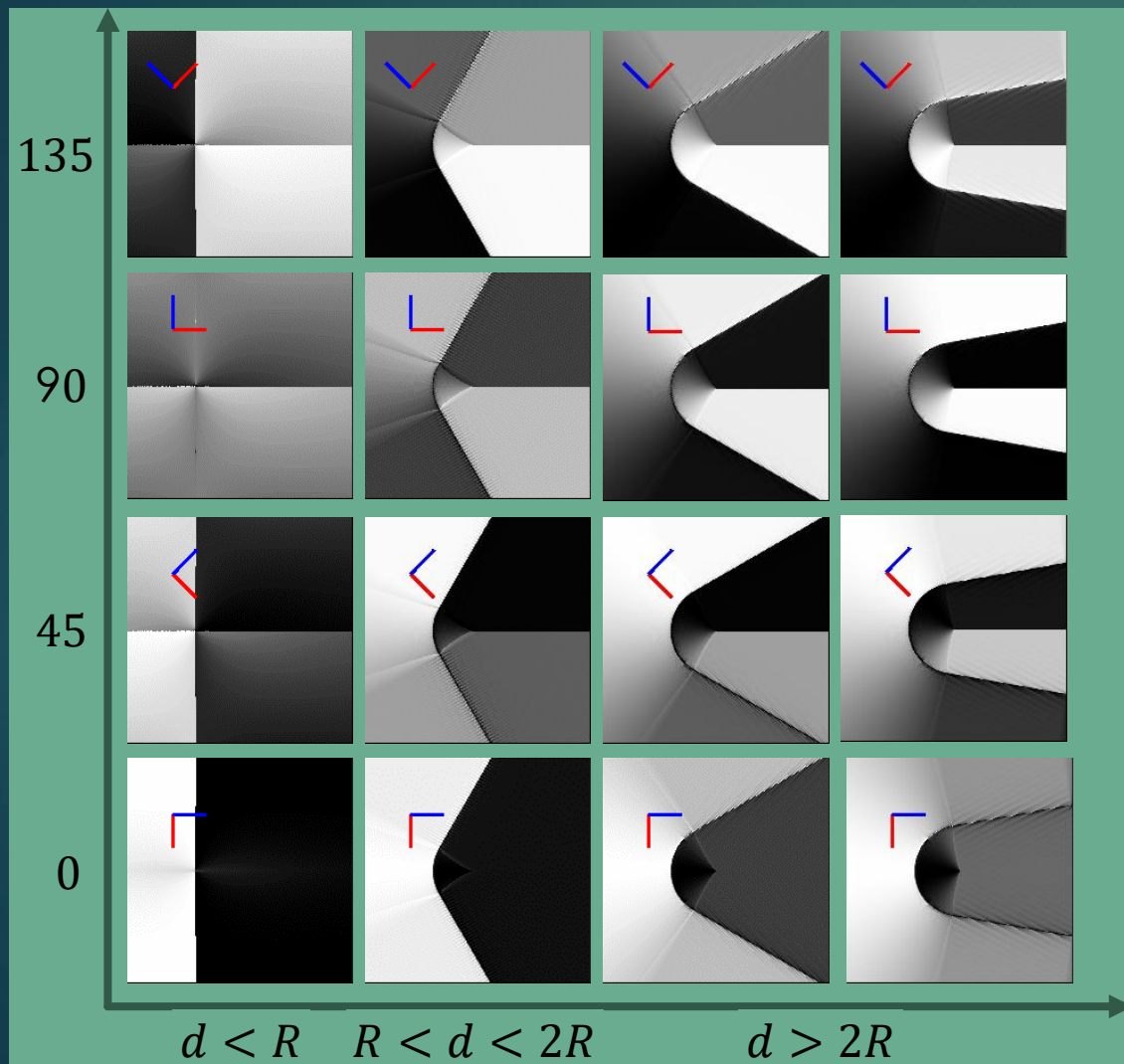
ФВ-МОДЕЛЬ ОБЛАСТИ ВОЗМОЖНОГО СТОЛКНОВЕНИЯ РОБОТОВ

18



ЧЕТЫРЕХМЕРНАЯ МОДЕЛЬ ВЗАИМНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ 2-Х РОБОТОВ

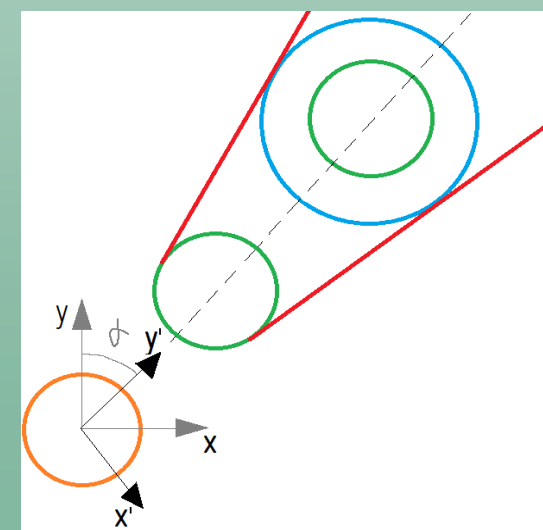
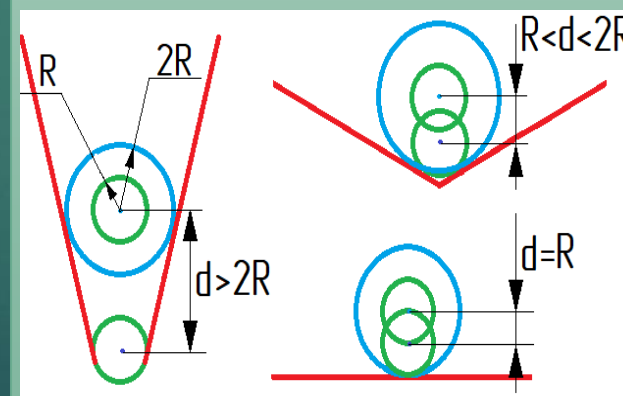
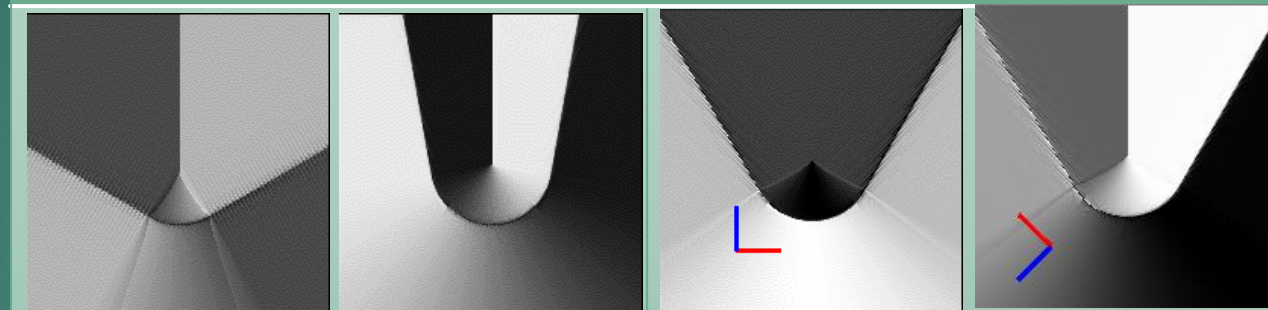
$$M = \{x, y, \alpha, d\}$$



Параметры пространственного расположения роботов

Расстояние между роботами

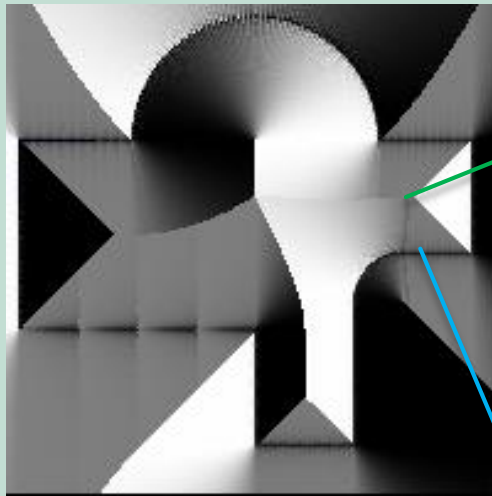
Угол наклона к глобальной системе координат



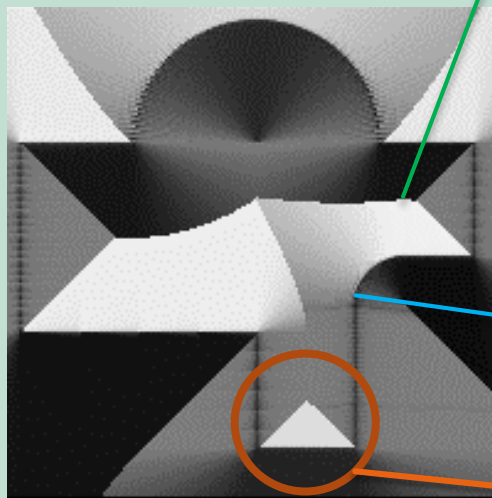
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАМКНУТОГО ПОЛИГОНА

20

порожденные M-образы



M_1^{XOY}



M_2^{XOY}

траектория движения

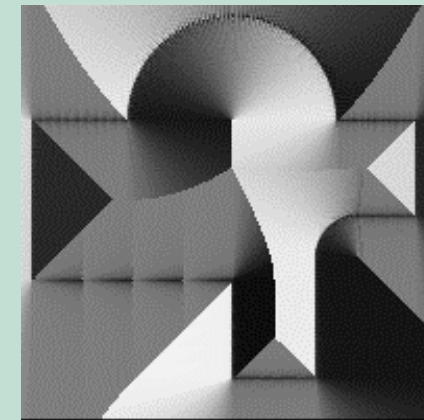


ЗАМКНУТЫЙ
ПОЛИГОН

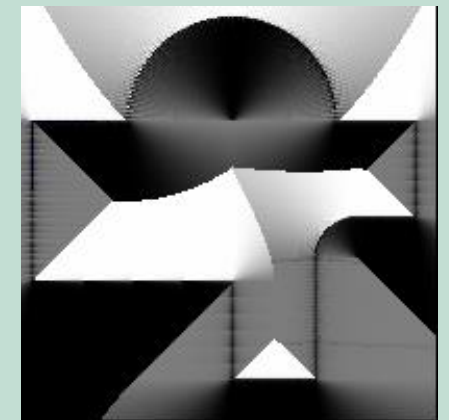
границы полигона

тупик

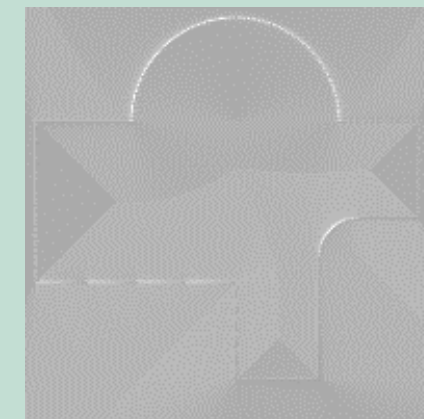
базовые M-образы



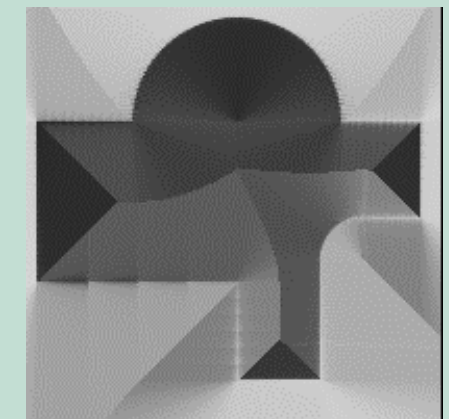
M_1



M_2

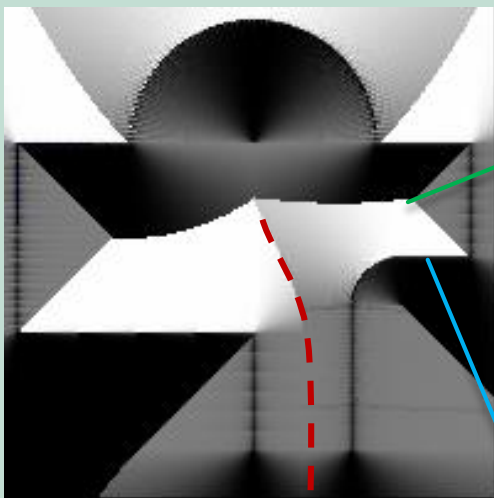


M_3

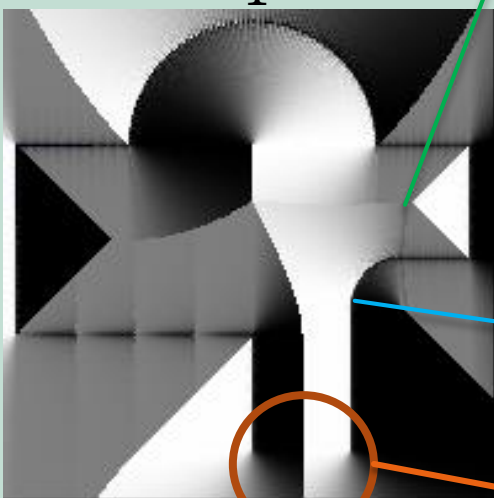


M_4

порожденные M-образы



M_1^{XOY}



M_2^{XOY}

траектория движения

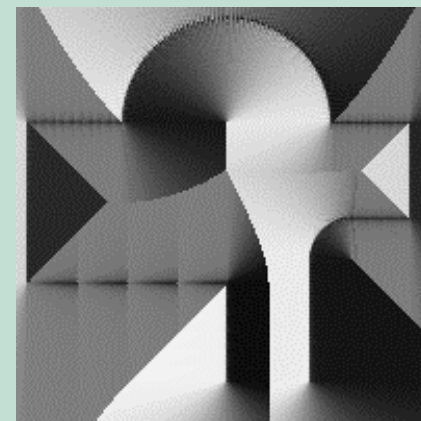


разомкнутый
ПОЛИГОН

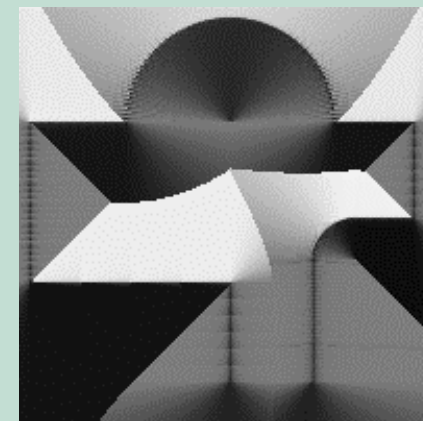
границы полигона

проход

базовые M-образы



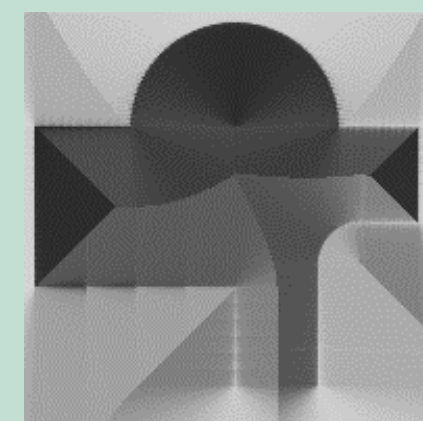
M_1



M_2



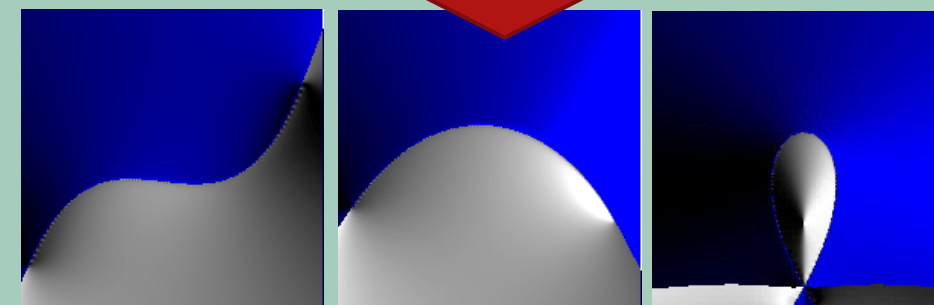
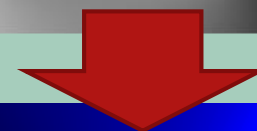
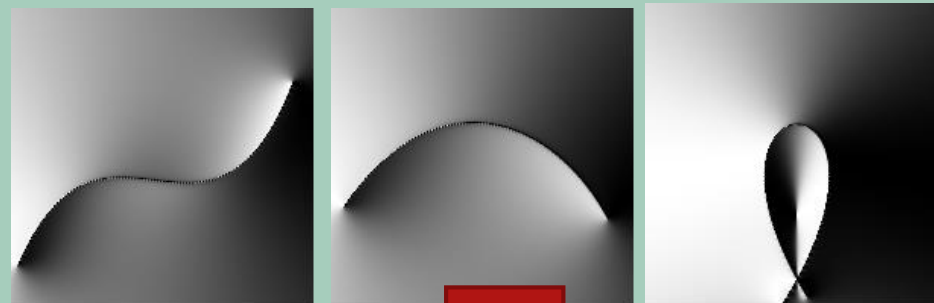
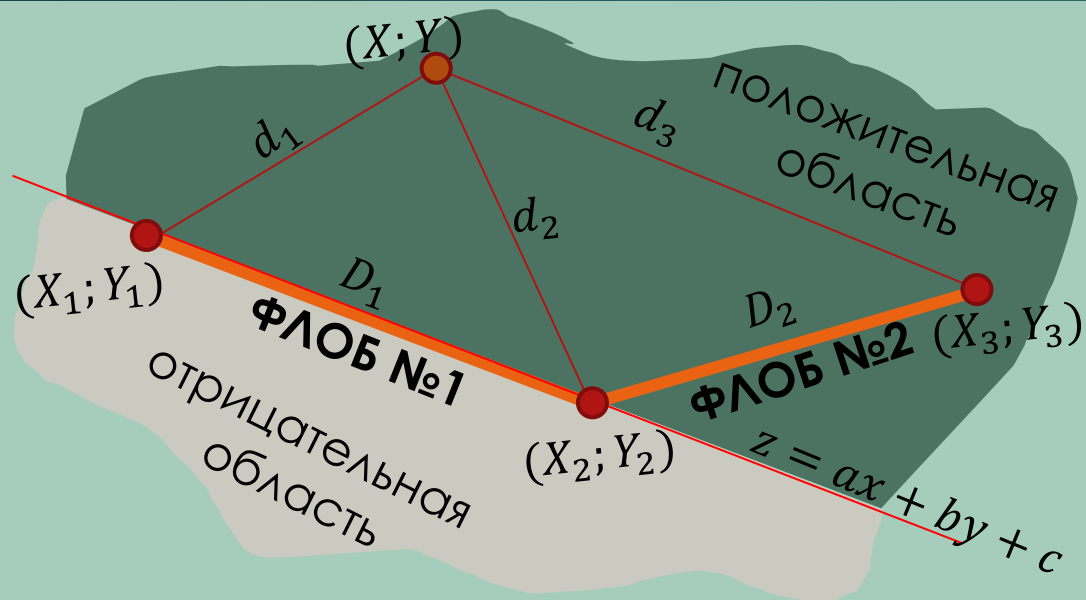
M_3



M_4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ОБЛАСТИ ФЛОБ-КОНСТРУИРОВАННО МОДЕЛИ

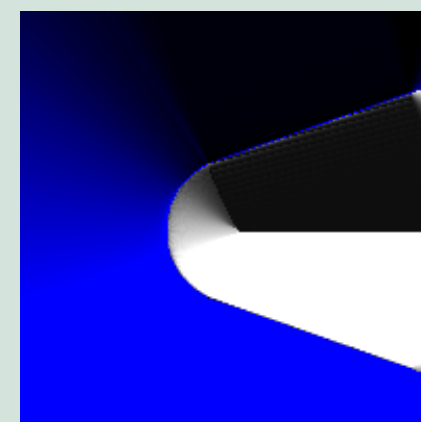
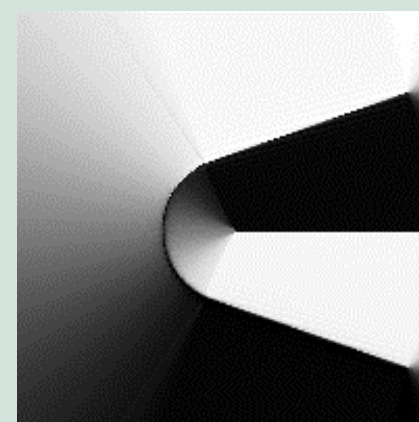
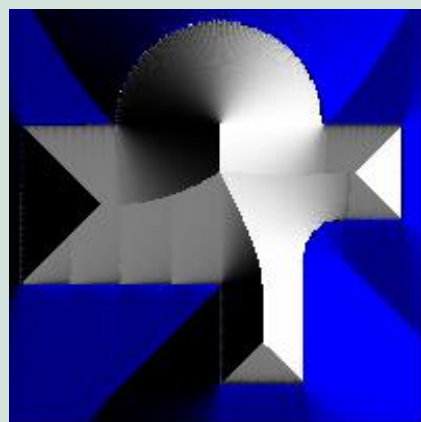
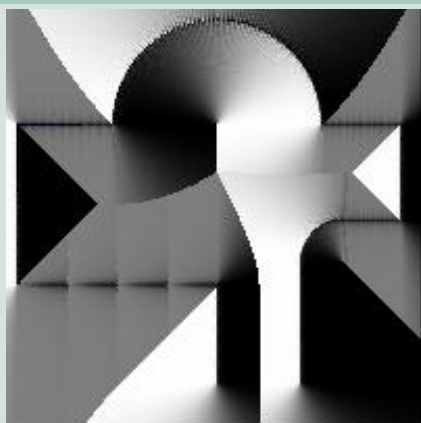
22



$$Z_1 = D_1 - (d_1 + d_2)$$

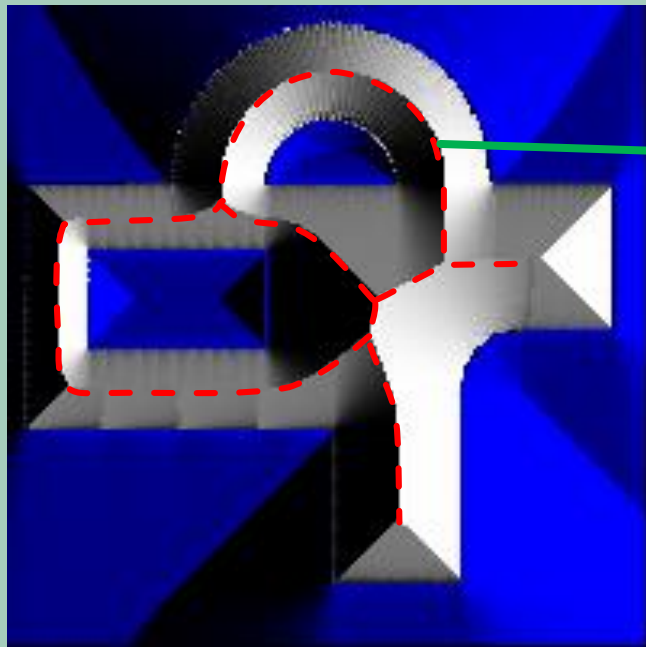
$$Z_2 = D_2 - (d_2 + d_3)$$

$Z_1 < Z_2 \Rightarrow$ точка ближе к ФЛОБ №1
(выбор знака по ФЛОБ №1)



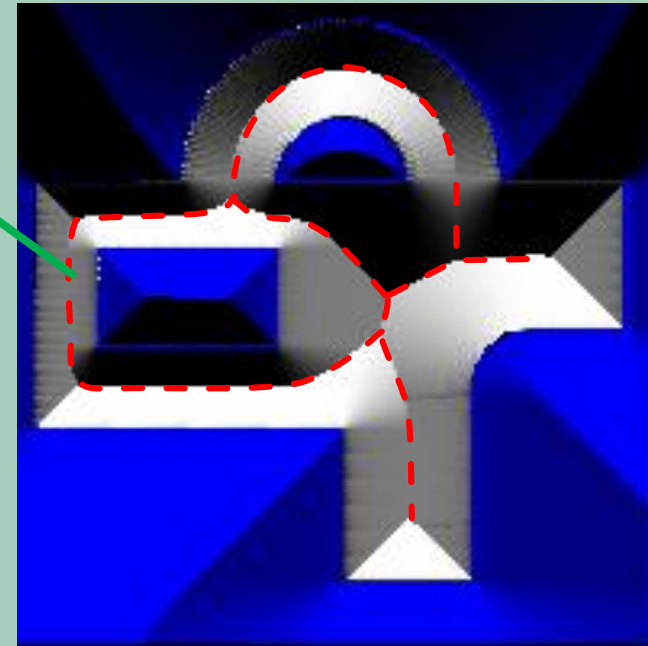
МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНОГО ПОЛИГОНА

23



M_1^{XOY}

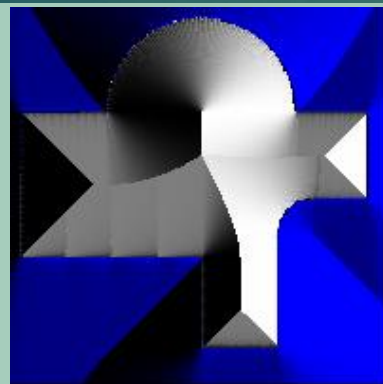
траектория
в обход
препятствий



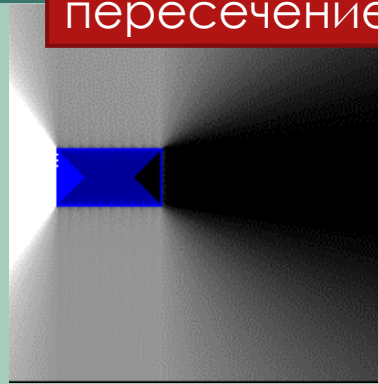
M_2^{XOY}

$$w = w_1 \wedge w_2 \wedge w_3$$

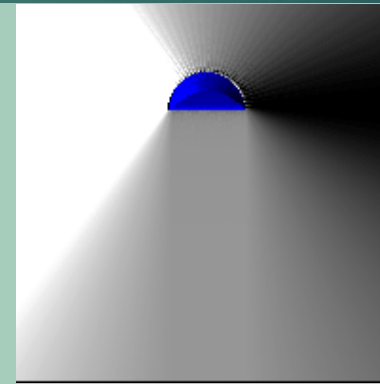
R-функциональное
пересечение



w_1



w_2

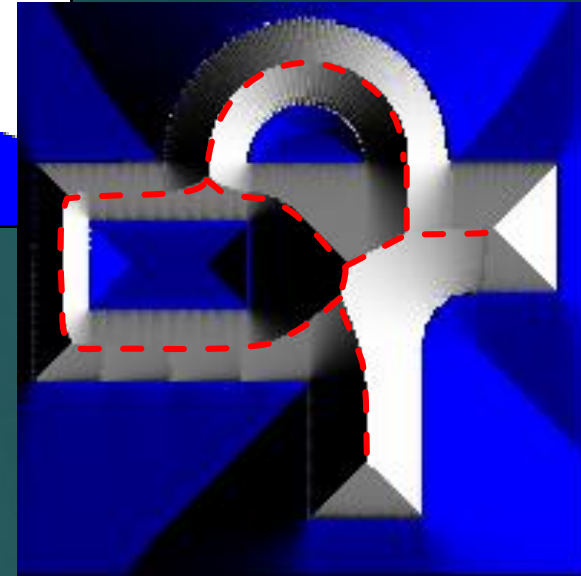
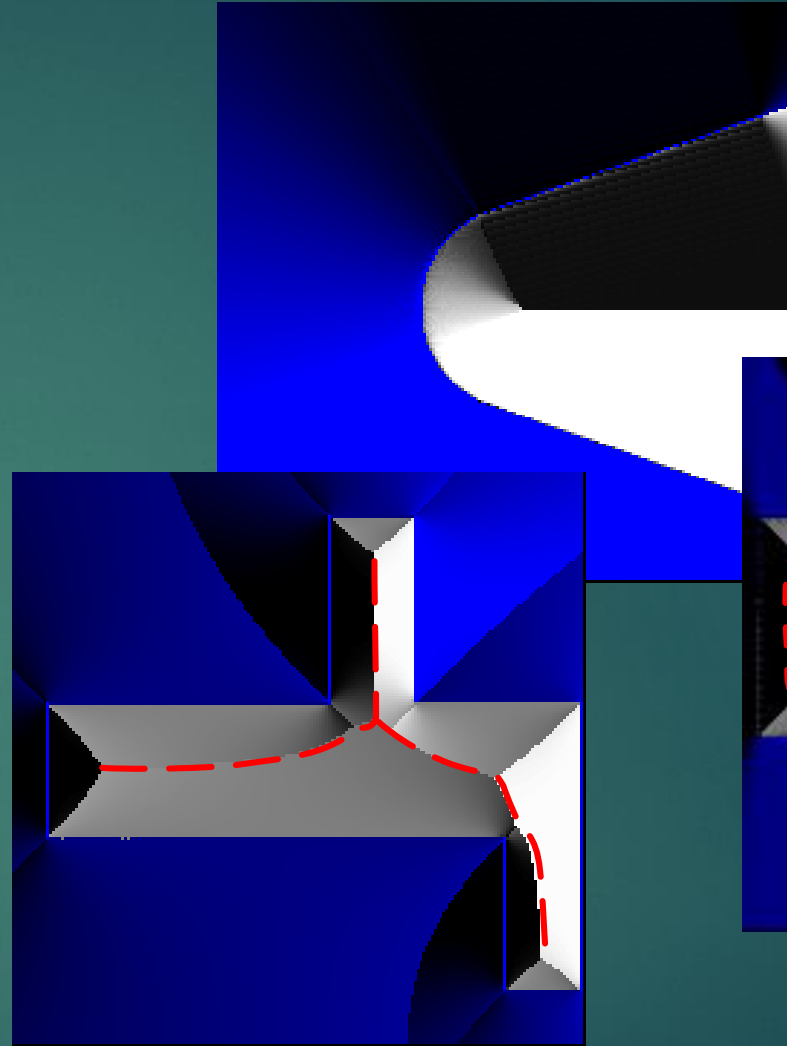


w_3

Применение в разрабатываемых МНШ алгоритмах движения роботов:

- избегание столкновения роботов друг с другом (алгоритм ORCA)
- обход статичных препятствий и движение в детерминированной среде

Развитие предложенных принципов для алгоритма многостайного движения с различными целями, а также для слабо детерминированной среды.





Способы калибровки и относительное позиционирование мобильного робота

ХАРЛАНОВА ПОЛИНА МИХАЙЛОВНА

ЛАБОРАТОРИЯ 18



Способы калибровки и относительное позиционирование мобильного робота

2

Цель

Решение проблемы неточного позиционирования робота.

Задачи:

- Найти способ устранения систематических ошибок одометрии
- Исследовать и применить алгоритмы уточнения позиции робота с помощью лазерных дальномеров



Алгоритм калибровки систематических ошибок одометрии

3

1. Вычисляем дельту между предполагаемыми и реальными конечными координатами x при запуске по и против часовой стрелки:

$$x_{c.g.,CW/CCW} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \epsilon x_{i,CW/CCW}$$

$$y_{c.g.,CW/CCW} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \epsilon y_{i,CW/CCW}$$

2. Вычисляем угол и радиус кривизны криволинейной траектории при движении по прямой:

$$\beta = \frac{x_{c.g.,CW} - x_{c.g.,CCW}}{-4L} \left(\frac{180}{\pi} \right)$$

$$R = \frac{L/2}{\sin(\beta/2)}$$

3. Находим истинный угол поворота:

$$\alpha = \frac{x_{c.g.,CW} + x_{c.g.,CCW}}{-4L} \left(\frac{180}{\pi} \right) ;$$

4. Определяем ошибку соотношения между диаметрами колес:

$$E_d = \frac{r+b/2}{r-b/2}$$

5. Вычисляем настоящую величину колесной базы:

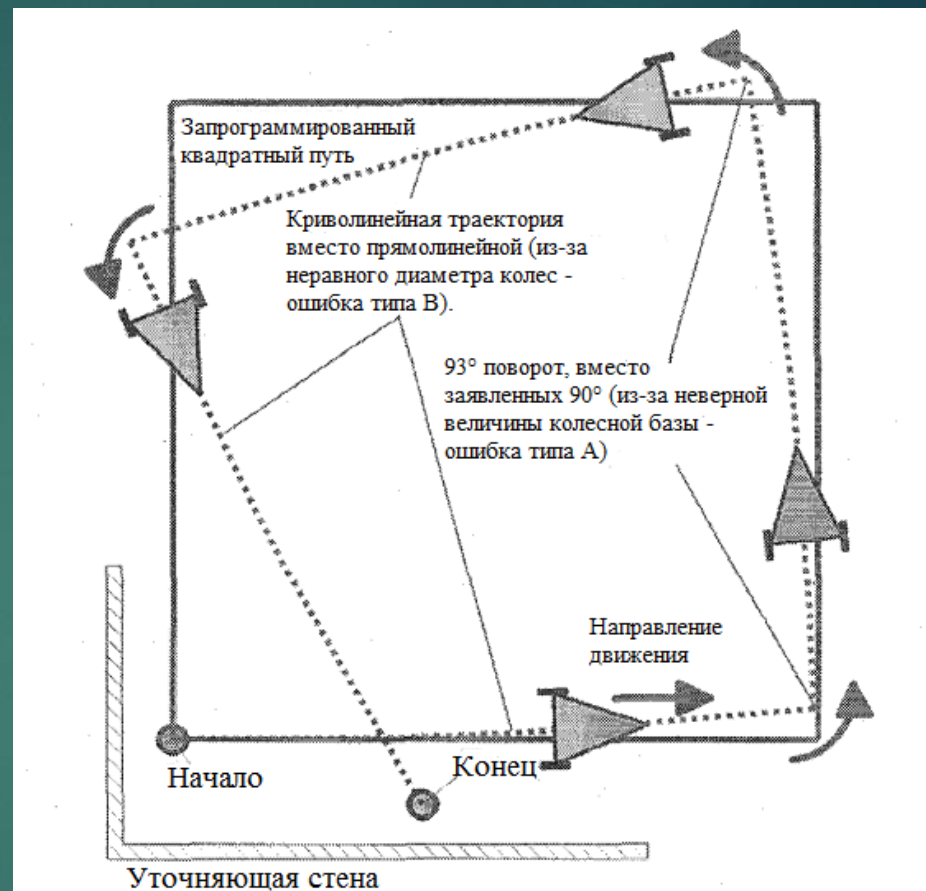
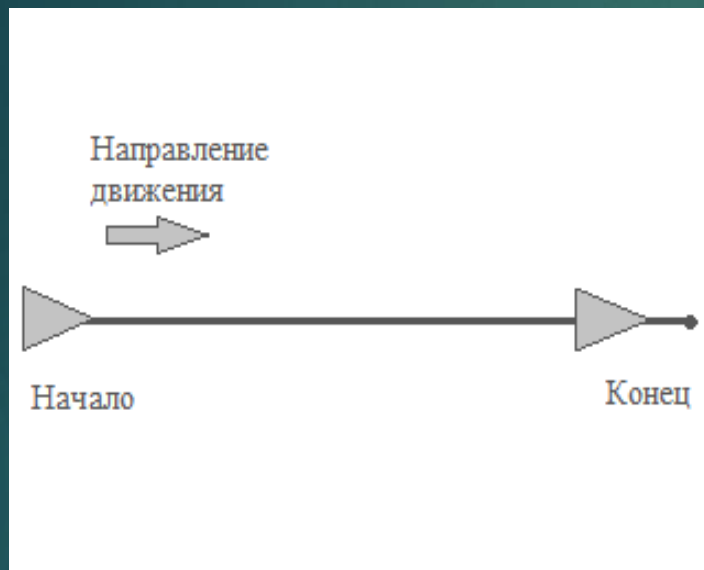
$$b_{\text{actual}} = \frac{90}{90 - \alpha} \cdot b_{\text{nominal}}$$

6. Определяем ошибку колесной базы:

$$E_b = \frac{90}{90 - \alpha}$$

7. Получаем два поправочных коэффициента:

$$C_L = \frac{2}{E_d + 1} \quad C_R = \frac{2}{\frac{1}{E_d} + 1}$$



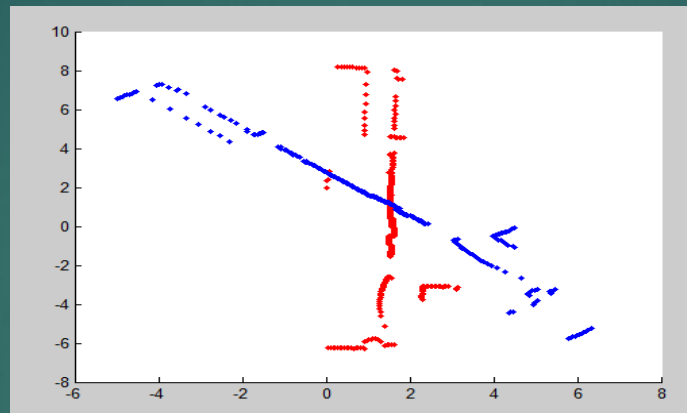
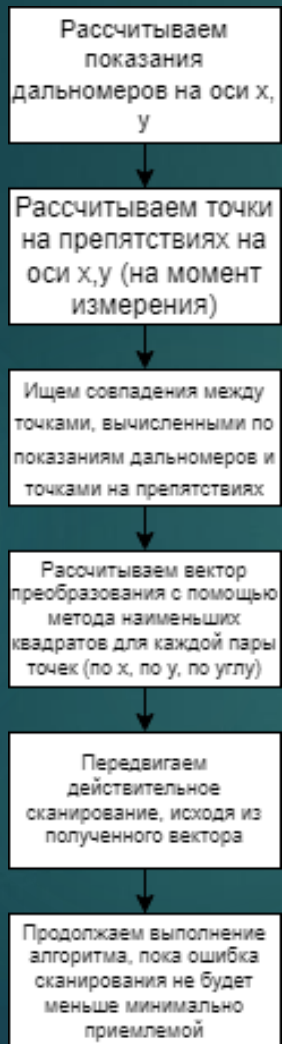
Вывод:

точность позиционирования робота стала на два порядка выше, что говорит об эффективности применения данного алгоритма для мобильного робота

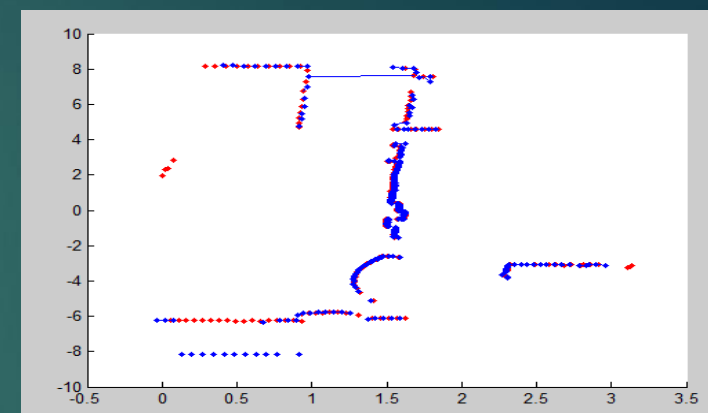
	До корректировки	После корректировки
x_{cw}	0.1186	0.002
y_{cw}	0.1026	0.015
x_{ccw}	0.0556	0.004
y_{ccw}	-0.0394	-0.003



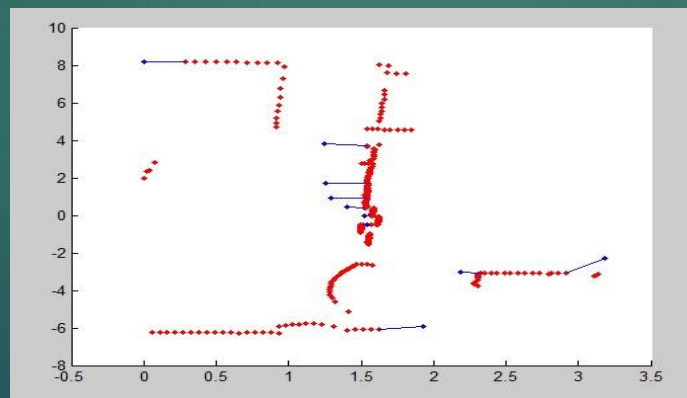
Алгоритм уточнения положения scan-matching



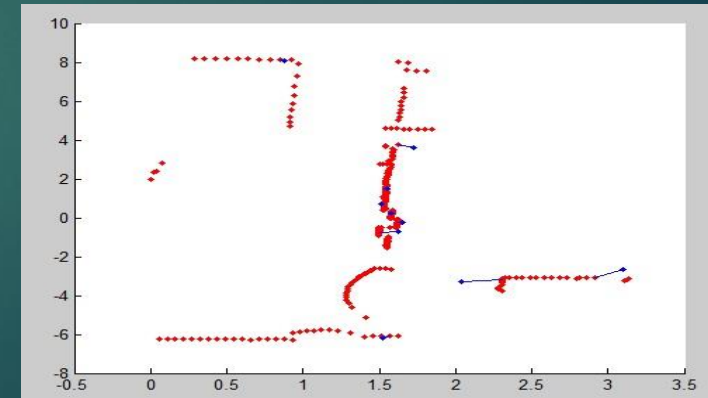
До применения алгоритма (360 точек 1-е сканирование, 360 точек 2-е сканирование)



После применения алгоритма (360 точек 1-е сканирование, 360 точек 2-е сканирование)



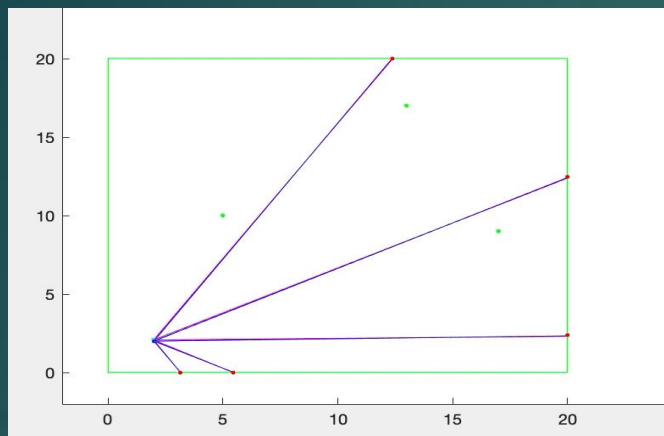
До применения алгоритма (360 точек 1-е сканирование, 10 точек 2-е сканирование)



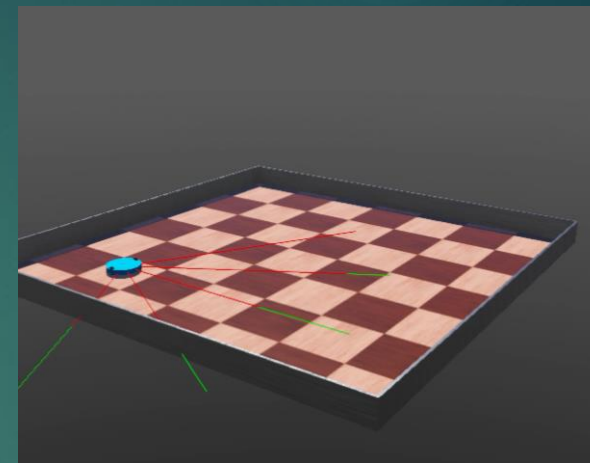
После применения алгоритма (360 точек 1-е сканирование, 10 точек 2-е сканирование)



Результаты моделирования алгоритма в MatLab и Webots:



Движение робота по списку целей с применением алгоритма scan-matching в среде MatLab



Движение робота по списку целей с применением алгоритма scan-matching в среде Webots

Вывод: алгоритм scan-matching показывает приемлемую точность и его можно использовать для корректировки колесной одометрии. Следующим шагом в реализации алгоритма будет проведение экспериментов непосредственно на физических мобильных платформах.

№ Теста	Вектор преобразования за одну итерацию (среднее значение) (x, y, угол)	Вектор положения, вычисленный с помощью одометрии (x, y, угол)	Вектор положения с применением алгоритма (x, y, угол)	Вектор положения, полученный с датчика GPS (x, y, угол)
1	-0.005707	0.415992	0.402513	0.387540
	0.016493	0.449355	0.474371	0.498894
	0.017340	-1.647662	-1.561072	-1.520220
2	-0.005520	0.416098	0.403334	0.389028
	0.016016	0.450732	0.474832	0.498813
	0.016124	-1.640267	-1.571103	-1.512924
3	-0.005945	0.417214	0.401165	0.388214
	0.016523	0.450231	0.473957	0.499643
	0.017599	-1.648005	-1.560742	-1.521387
4	-0.005785	0.416004	0.416284	0.387540
	0.016504	0.441956	0.474069	0.498894
	0.017269	-1.646881	-1.560983	-1.520220
5	-0.005891	0.417049	0.400934	0.388496
	0.016547	0.450018	0.473425	0.499025
	0.017553	-1.647243	-1.562501	-1.530019



Моделирование опасных зон в задаче автономного движения с применением функционально-воксельного метода описания карты препятствий

СТУДЕНТ: ШУТОВА К.Ю.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ: ТОЛОК А.В.

Цели

- ▶ Исследование и реализация модели убегания от хищника при стайном поведении;
- ▶ Введение метода самообучения реагирования на поведение соседей при избегании опасности.
- ▶ Предложение и анализ применения функционально-воксельной модели в стайном движении агентов.

Стайное движение

$$u_i = u_i^\alpha + u_i^\beta + u_i^\gamma$$

Итоговое ускорение

$$u_i^\alpha = \sum_{j \in N_i} \phi_\alpha(\|q_j - q_i\|) \vec{n}_{ij} + \sum_{j \in N_i} a_{ij}(q)(p_j - p_i)$$

Консенсус по направлению движения

Вектор ускорения

$$u_i^\gamma = -c_1(q_i - q_r) - c_2(p_i - p_r)$$

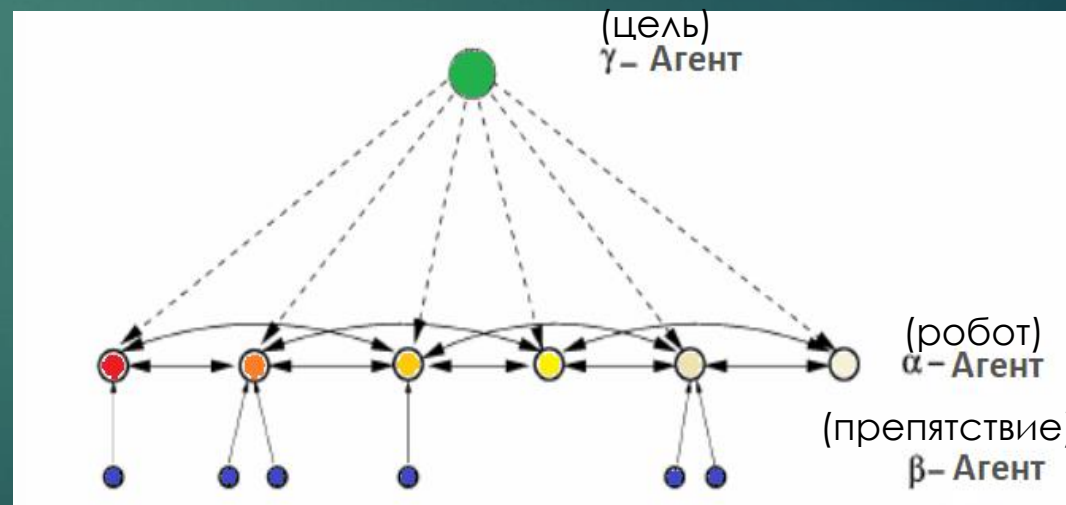
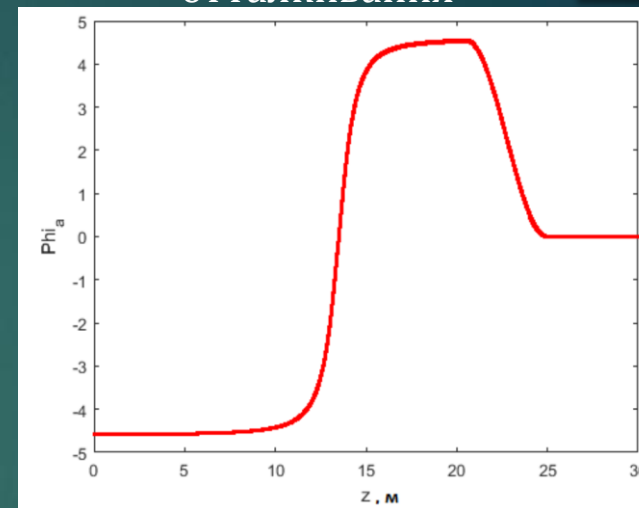
Направление притяжения к цели

Сила притяжения к цели

$$\phi_\beta(z) = \rho_h \left(\frac{z}{d_\beta} \right) (\sigma_1(z - d_\beta) - 1)$$

Обход препятствий

Функция притяжения и отталкивания



Стайное движение

4

Алгоритм 1

$$u_i^\alpha = \sum_{j \in N_i} \phi_\alpha(\|q_j - q_i\|) \vec{n}_{ij} + \sum_{j \in N_i} a_{ij}(q)(p_j - p_i)$$

$$\phi_\alpha(z) = \rho_h \left(\frac{z}{r_\alpha} \right) \phi(z - d_\alpha)$$

Функция действия

$$\phi(z) = \frac{1}{2} [(a + b)\sigma_1(z + c) + (a - b)]$$

Сигмоидальная функция

Алгоритм 2

$$u_i^\gamma = -c_1(q_i - q_r) - c_2(p_i - p_r)$$

Притяжение к цели

$$u_i = u_i^\alpha + u_i^\beta + u_i^\gamma$$

Итоговое ускорение

a и b – коэффициенты притяжения и отталкивания

r – область видимости

d – минимальная дистанция

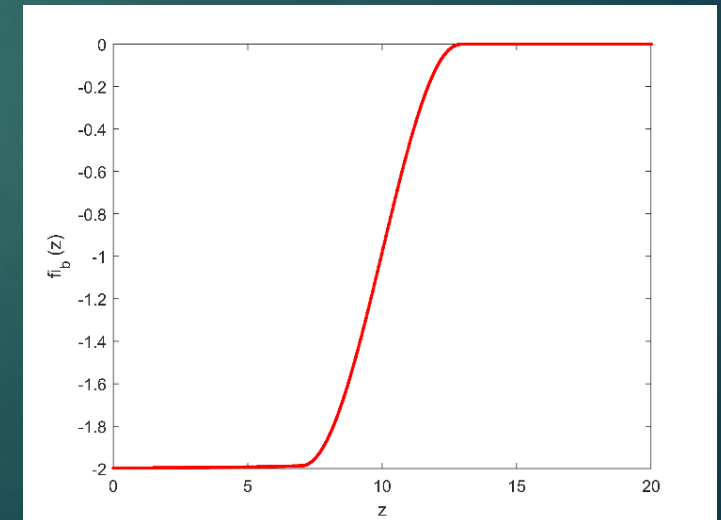
Алгоритм 3

$$u_i^\beta = c_1^\beta \sum_{j \in N_i} \phi_\beta(\|q_{i,k} - q_i\|) \vec{n}_{i,k} + c_2^\beta \sum_{j \in N_i} b_{i,k}(q)(p_{i,k} - p_i)$$

Отталкивание от препятствий

$$\phi_\beta(z) = \rho_h \left(\frac{z}{d_\beta} \right) (\sigma_1(z - d_\beta) - 1)$$

$\phi_\beta(z)$



Q-обучение

Состояние $s_i = [dir_p, |N_i|]$

Действие $a_i \in A$, где $A = [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]$

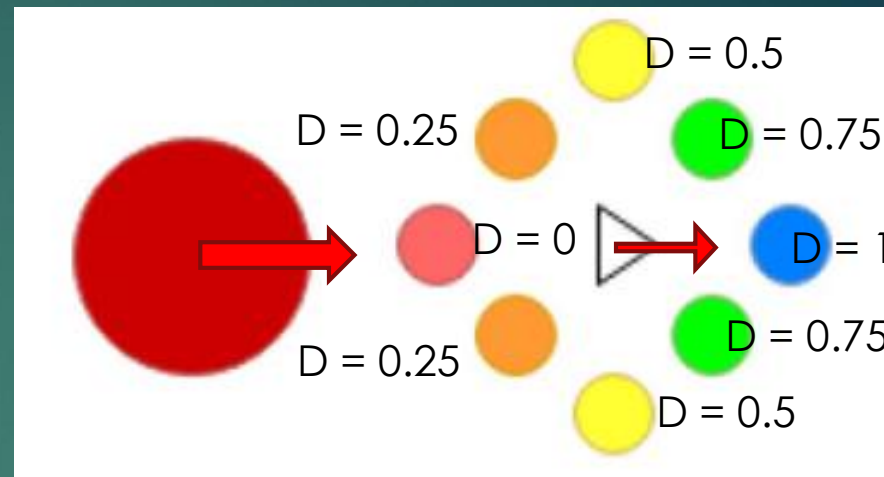
Награды: $r_i = \begin{cases} |N_i|D_r, & |N_i| < 6 \\ 6 D_r, & \text{иначе} \end{cases}$

$info_i = \begin{cases} 1 & 0 \leq w_p < 22.5, 337.5 \leq w_p \leq 360 \\ 2 & 22.5 \leq w_p < 67.5 \\ 3 & 67.5 \leq w_p < 112.5 \\ 4 & 112.5 \leq w_p < 157.5 \\ 5 & 157.5 \leq w_p < 202.5 \\ 6 & 202.5 \leq w_p < 247.5 \\ 7 & 247.5 \leq w_p < 292.5 \\ 8 & 292.5 \leq w_p < 337.5 \end{cases}$

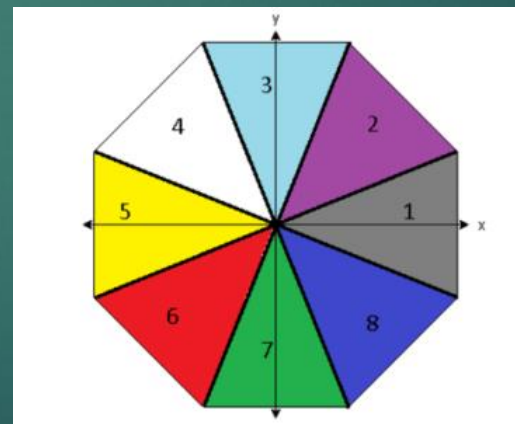
Выбор сектора в зависимости от того, куда направлен агент.
 w_p – угол между агентом и хищником

$$u_i^y = -c_1(q_i - q_r) - c_2(p_i - p_r)$$

Притяжение к цели



D – коэффициент выбора направления



Сектора $info_i$

агент

Q-таблица

	агент 1
1	0.5531
2	1.7363
3	2.6250
4	1.2349
5	4
6	0
7	0
8	0

направления

в ячейках - награды

Q-обучение

Слагаемые матрицы весов $weight_{i,d}$:

- ▶ чем ближе агент к хищнику, тем больше вес;
- ▶ коэффициент отклонения от среднего угла сектора.

$$weight_{i,d} = \begin{cases} \left(1 - \frac{\|q_p - q_i\|}{r_p}\right) * \left(\frac{w_m - w_p + 45}{45}\right) & \|q_p - q_i\| < r_p, d = info_i \\ \left(1 - \frac{\|q_p - q_i\|}{r_p}\right) * \left(1 - \frac{w_m - w_p + 45}{45}\right) & \|q_p - q_i\| < r_p, d = info_i + 1, w_p > w_m \\ \left(1 - \frac{\|q_p - q_i\|}{r_p}\right) * \left(1 - \frac{w_p - w_m + 45}{45}\right) & \|q_p - q_i\| < r_p, d = info_i - 1, w_p < w_m \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

r_p – расстояние до хищника

d – направление ухода от «хищника»

w_m – средний угол измеренного направления

$$weight_{1,d} = \begin{pmatrix} weight_{1,1} & weight_{1,2} & weight_{1,3} & weight_{1,4} & weight_{1,5} & weight_{1,6} & weight_{1,7} & weight_{1,8} \\ weight_{2,1} & weight_{2,2} & weight_{2,3} & weight_{2,4} & weight_{2,5} & weight_{2,6} & weight_{2,7} & weight_{2,8} \\ weight_{3,1} & weight_{3,2} & weight_{3,3} & weight_{3,4} & weight_{3,5} & weight_{3,6} & weight_{3,7} & weight_{3,8} \end{pmatrix}$$

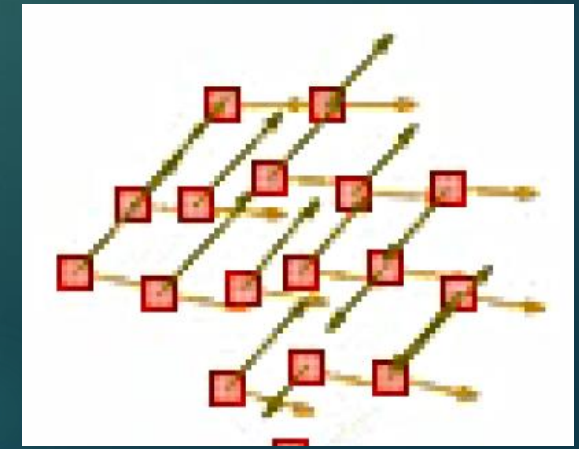
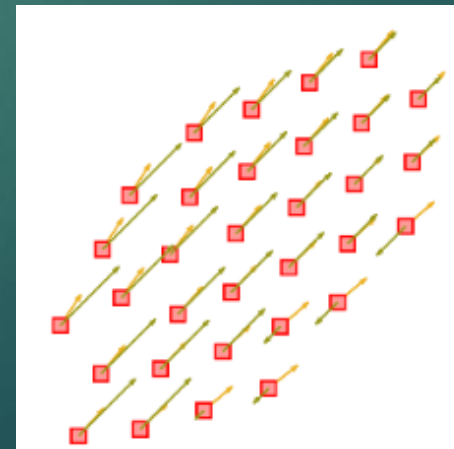
$$weight_i = weight_i + \sum_{j=1}^{|N_i|} weight_j$$

$$info_i = \max_d (weight_{i,d})$$

$$weight_i = \max_{weight} (weight_{N_i} \cup weight_i)$$

$$info_i = weight_i$$

Это dir_p для состояния $s_i = [dir_p, |N_i|]$



Реализация

7

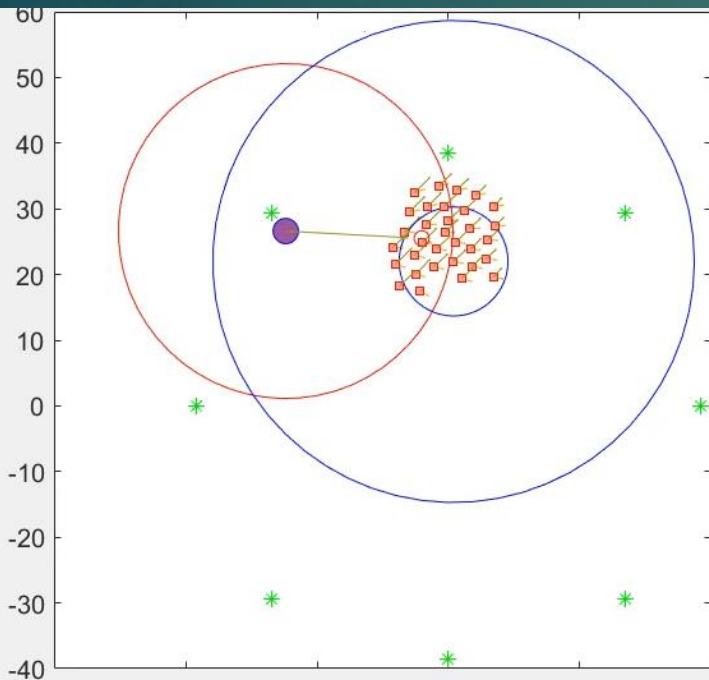
$$Q_i^{k+1}(s_i, a_i) \leftarrow Q_i^k(s_i, a_i) + \alpha \left[r_i^k + \gamma \max_{a'_i \in A_i} Q_i^k(s'_i, a'_i) - Q_i^k(s_i, a_i) \right]$$

$$Q_i^{k+1}(s_i, a_i) \leftarrow w Q_i^k(s_i, a_i) + (1 - w) \frac{\sum_{j=1}^{|N_i|} Q_j^k(s_j, a_i)}{|N_i|}$$

s_i, a_i – текущие состояние и действие.

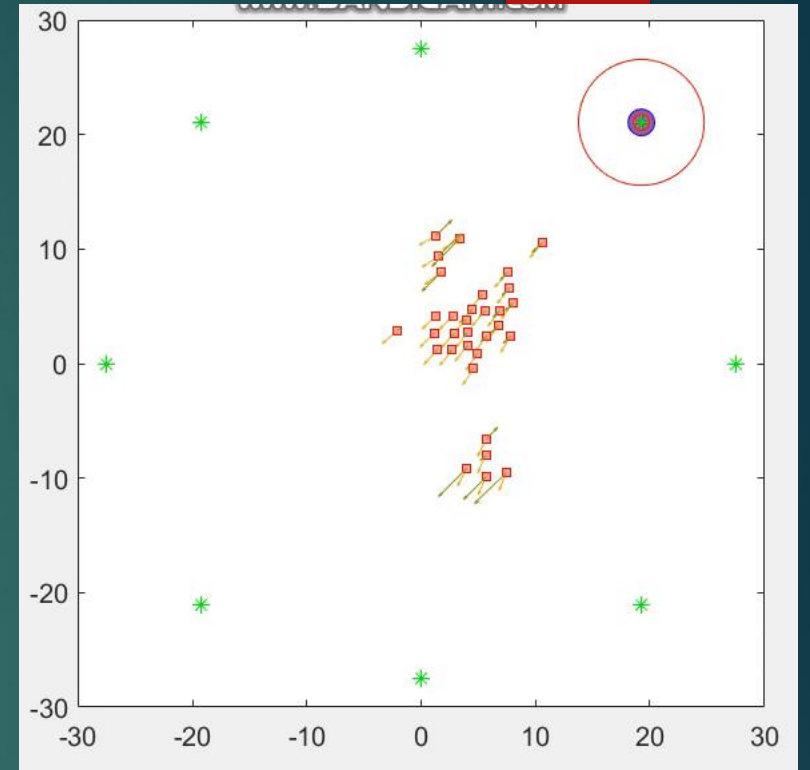
s'_i, a'_i – следующие состояние и действие.

k – текущая итерация, $k + 1$ – следующая итерация.

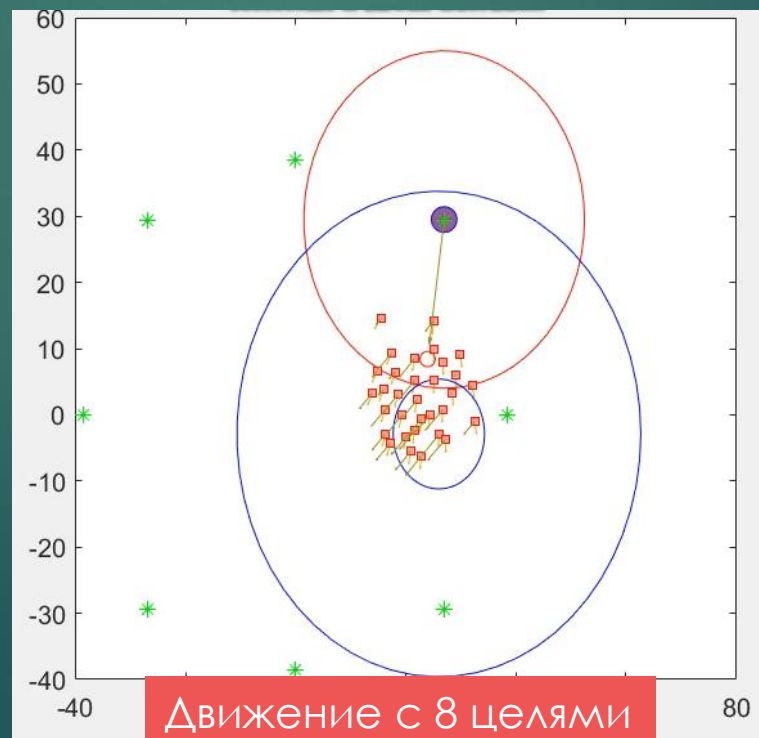
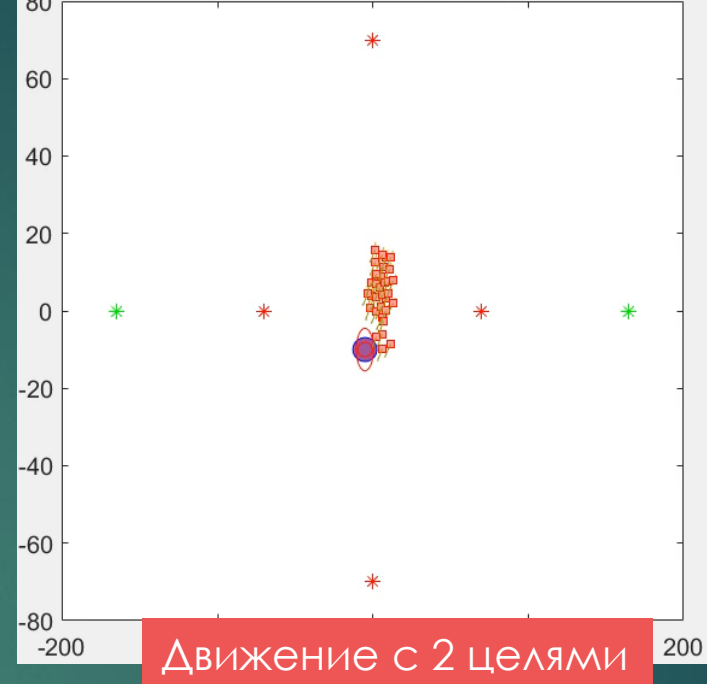
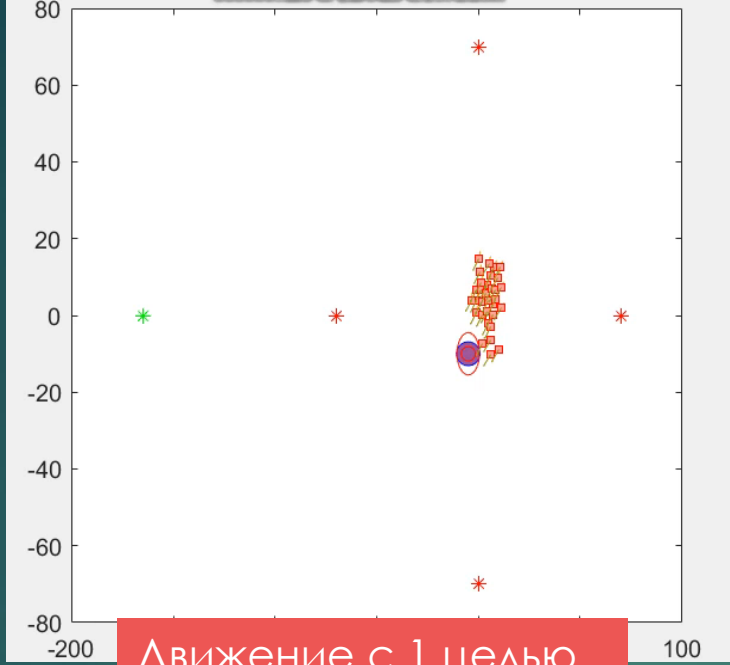


α – скорость обучения.
 γ – коэффициент силы ценности

Величина в скобках при коэффициенте α используется в сочетании со скоростью обучения, чтобы медленно двигаться к цели.

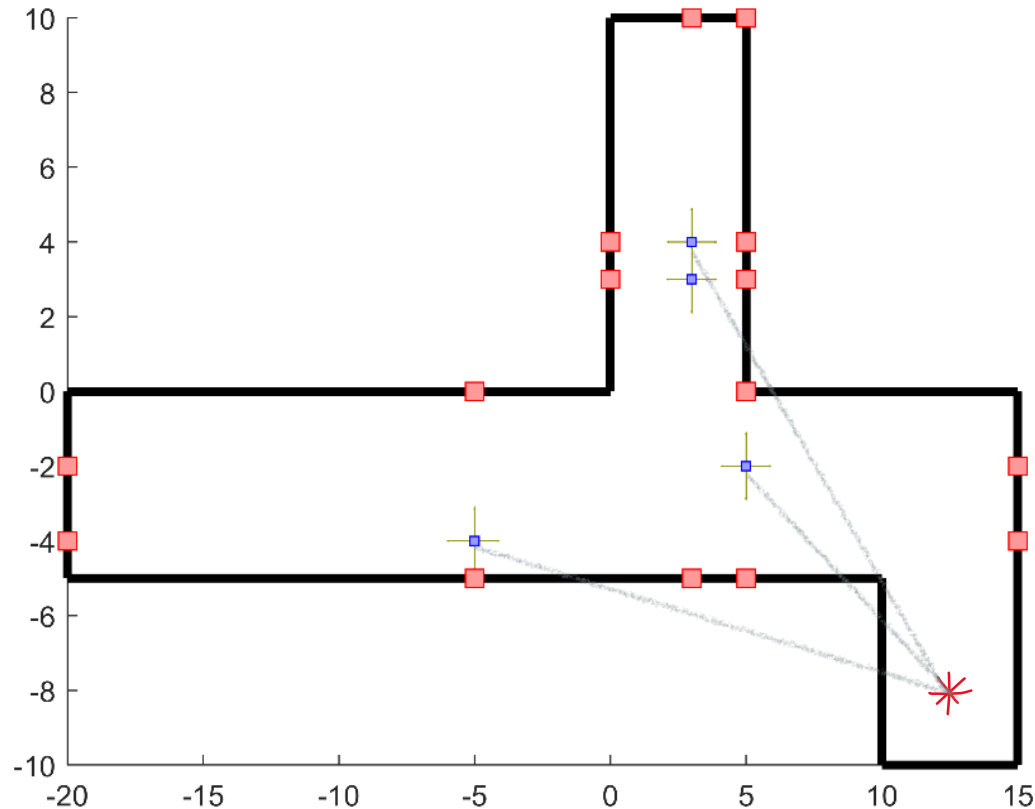


Независимое Q-обучение: игнорирование действия и вознаграждения других роботов. Сохранение и обновление Q таблицы, в которой хранятся данные о состоянии агента и его действиях.



Движение агентов в изолированном пространстве

9



Рассмотрено 4 агента в помещении.
Серые линии демонстрируют возможное поведение агентов без учета сил отталкивания от стен.
Синие точки – роботы.
Красные квадраты – координаты кратчайшего расстояния от робота до стены.

Функционально-воксельное моделирование

10

Функция-прототип

$$y = \frac{\sin \pi x}{\sqrt{|y| + 10}} -$$

$$-y \cos x^2 (y + x^2 + 16xy + y^2)$$

повышение размерности
пространства,
лин. аппроксимация

$$z = -y + \frac{\sin \pi x}{\sqrt{|y| + 10}} -$$

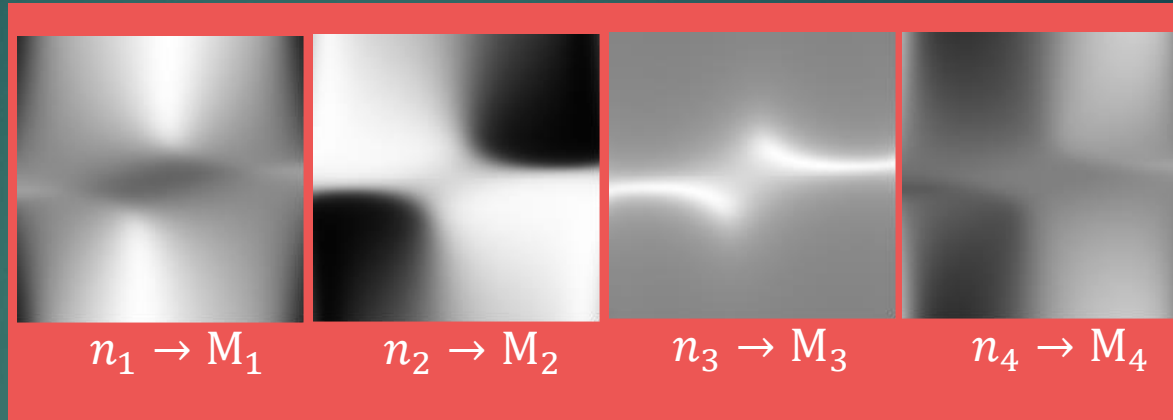
$$-y \cos x^2 (y + x^2 + 16xy + y^2)$$

Вычисление локальных
геометрических
характеристик

n_1, n_2, n_3, n_4

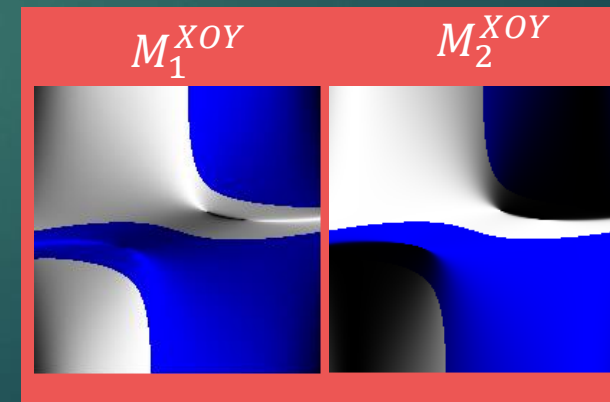
Функция-прототип
представляется как

$$z = -\frac{n_1}{n_3}x - \frac{n_3}{n_3}y + \frac{n_4}{n_3}$$



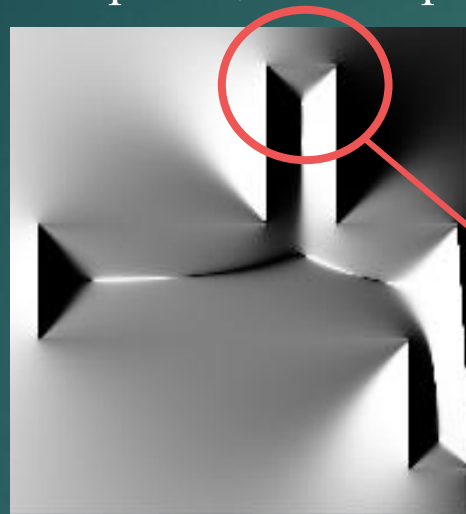
сохранение ЛГХ в
М-образах

визуализация
знака локальной
функции Z

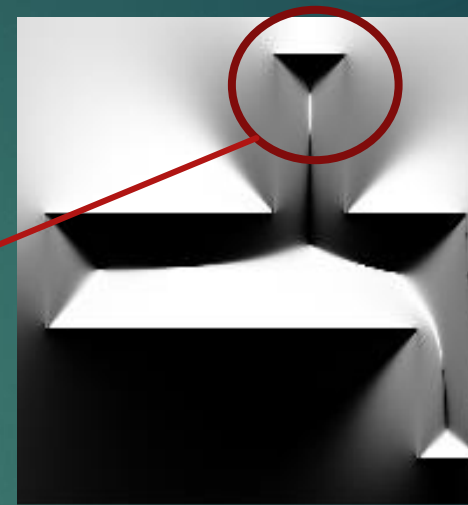


ФВ-модель полигона

Проекция четырехмерного вектора на плоскость XOY



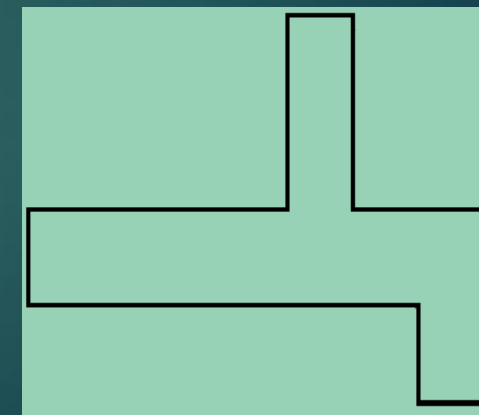
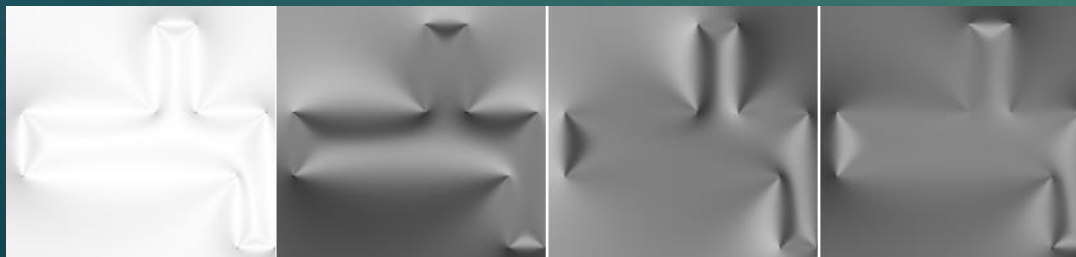
C_1^{XOY}



C_2^{XOY}

уменьшение скорости

4 M-образа, хранящие в себе его локальные геометрические характеристики

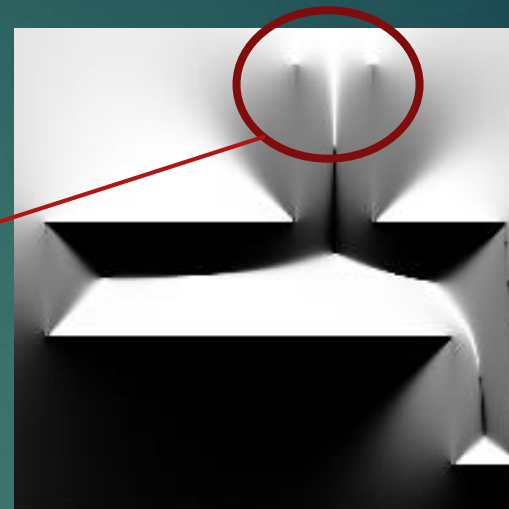
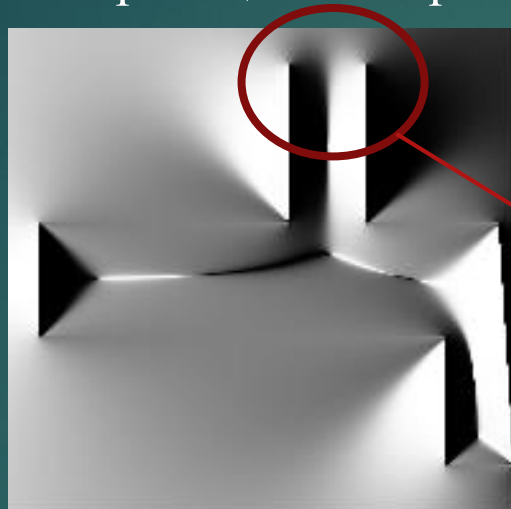


Модель полигона без выходов из помещения

Источник: Shutova K., Sycheva A., «Application of a functional voxel model to simulate the flocking motion of a multiagent system in a limited space»

ФВ-модель полигона

проекция четырехмерного вектора на плоскость XOY

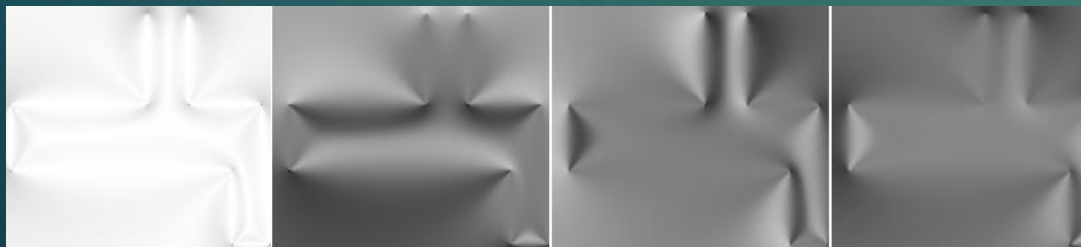


увеличение скорости

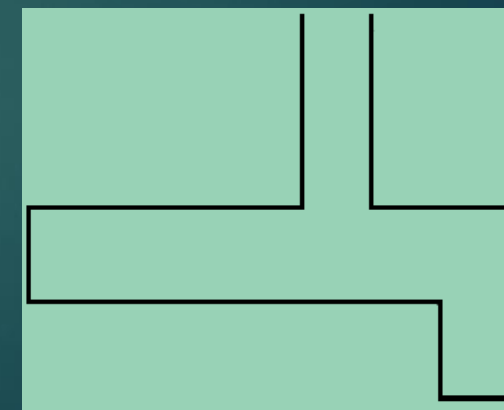
C_1^{XOY}

C_2^{XOY}

ФВ-модель контура составляют 4 М-образа, хранящие в себе его локальные геометрические характеристики (компоненты четырехмерного вектора нормали)

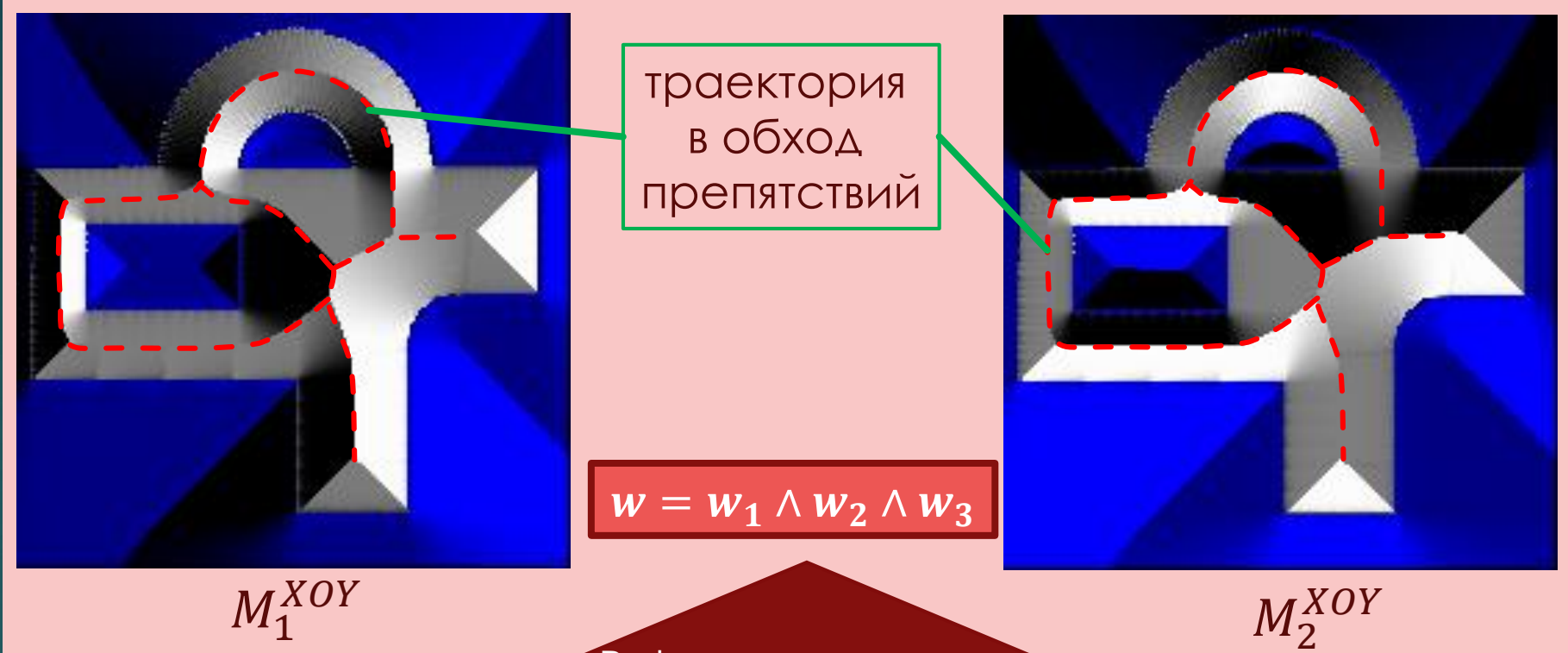


Модель полигона с выходом из помещения



Построение сложных полигонов

13



ВЫВОДЫ

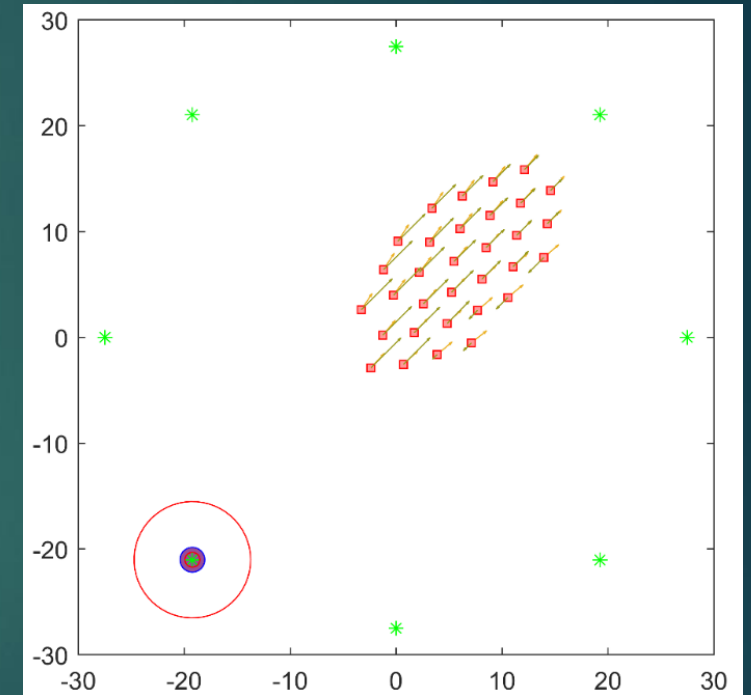
14

Реализовали передачу сообщений между агентами о направлении движения;

На основе стайного движения реализовали метод убегания от хищника в среде Matlab с использованием Q-обучения;

Использование в задачах лаборатории – реализация на мобильных платформах

Функционально-воксельный метод позволит решить проблемную ситуацию при движении агентов в представленном полигоне.



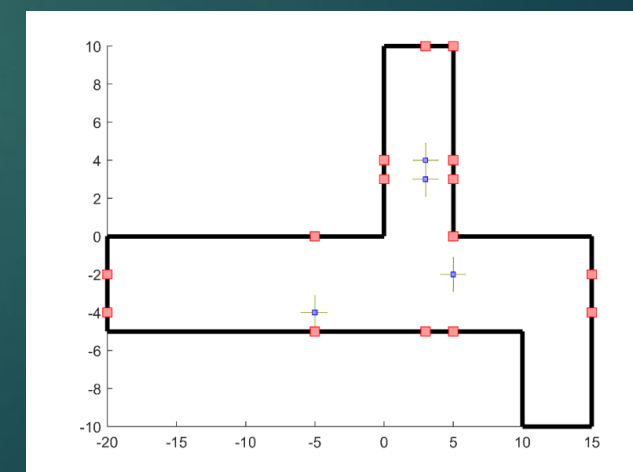
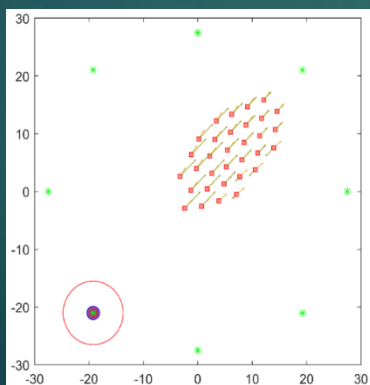
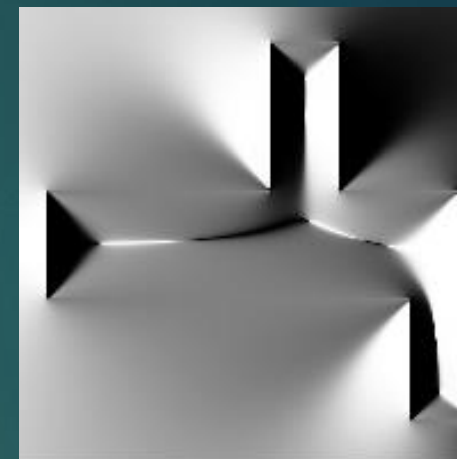
Планы на будущее

13

Перенос алгоритмов на физические мобильные платформы;

Реализация предложенного подхода и исследование его в стайном движении агентов в различных помещениях;

Планируется объединение в комплекс продемонстрированных задач для обеспечения стайного движения в замкнутом пространстве.





Навигация автономного агента внутри замкнутых пространств

АНДРЕЙЧИК НИКОЛАЙ ЛЕОНИДОВИЧ

ЛАБОРАТОРИЯ 18



Цель: Разработка системы навигации автономного агента внутри замкнутых пространств

Для обеспечения навигации автономного агента внутри замкнутых пространств необходимо решить следующие **задачи**:

1. Обеспечение максимально точного позиционирования агента за счёт одометрии;
2. Построение карты окружающего пространства и осуществление локализации на ней (задача SLAM);
3. Прокладка маршрута автономного агента среди статических препятствий до достижения цели;
4. Разведка ранее неизвестных помещений;
5. Реализация человеко-машинного интерфейса для установки целей движения робота.



Обеспечение максимально точного позиционирования агента за счёт одометрии

3

- В качестве основных датчиков для задачи одометрии были использованы стереокамера и колесные энкодеры.
- Для обеспечения визуальной одометрии по стереокамере был использован алгоритм ISAAC Elbrus.

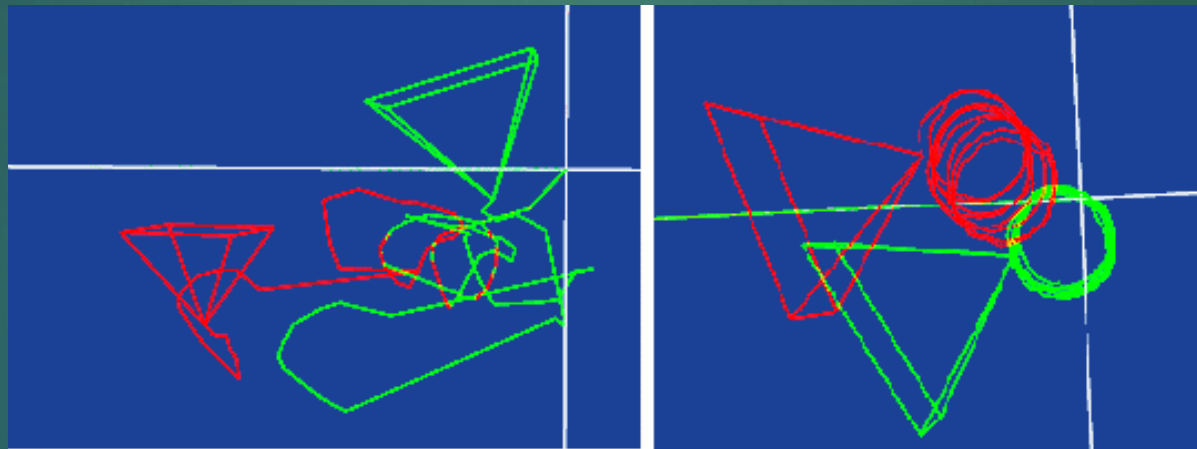


Рисунок 1. Дрейф оценки одометрии при плохом освещении (слева), эталонная траектория (справа)



Обеспечение максимально точного позиционирования агента за счёт одометрии

4

Текущие результаты:

- Реализовано программное обеспечение для визуализации и автоматизации проведения калибровки колесной одометрии и подстройки коэффициентов pid-регуляторов скоростей.
- Проведены испытания по результатам которых удалось уменьшить прирост систематической ошибки колесной одометрии.

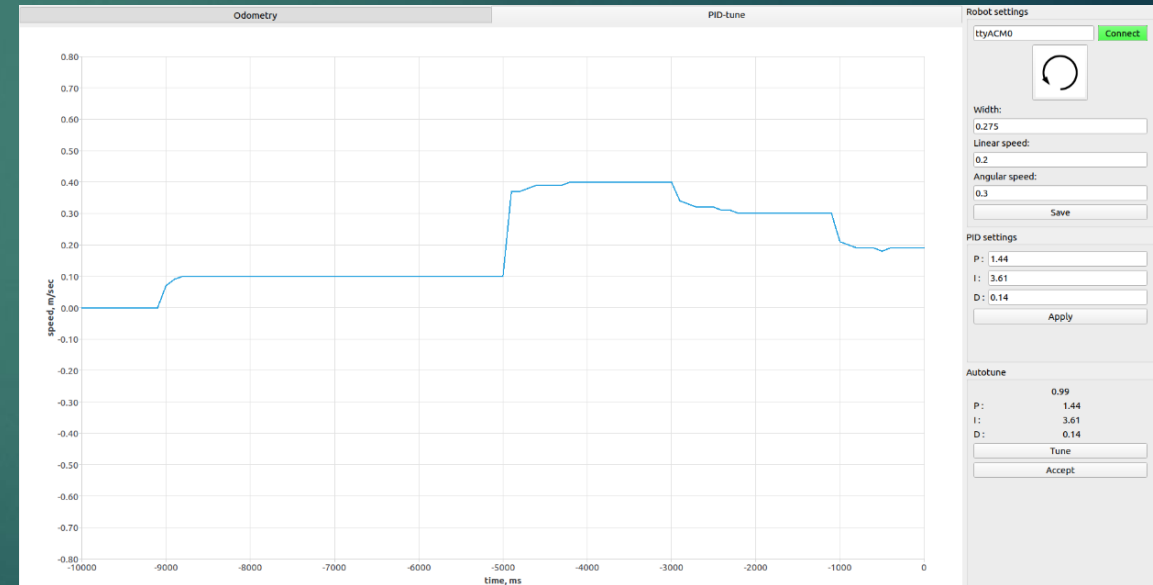
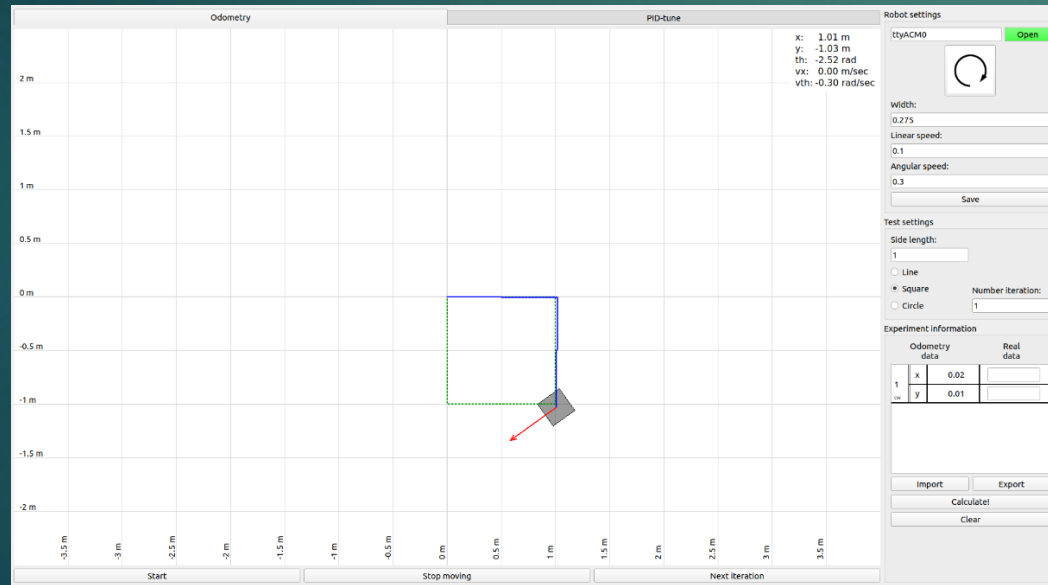


Рисунок 2. Интерфейс программы визуализации и автоматизации калибровки. Проведение калибровки по траектории «квадрат» (слева) и подстройка коэффициентов PID (слева)



Система построения карты, локализации и навигации

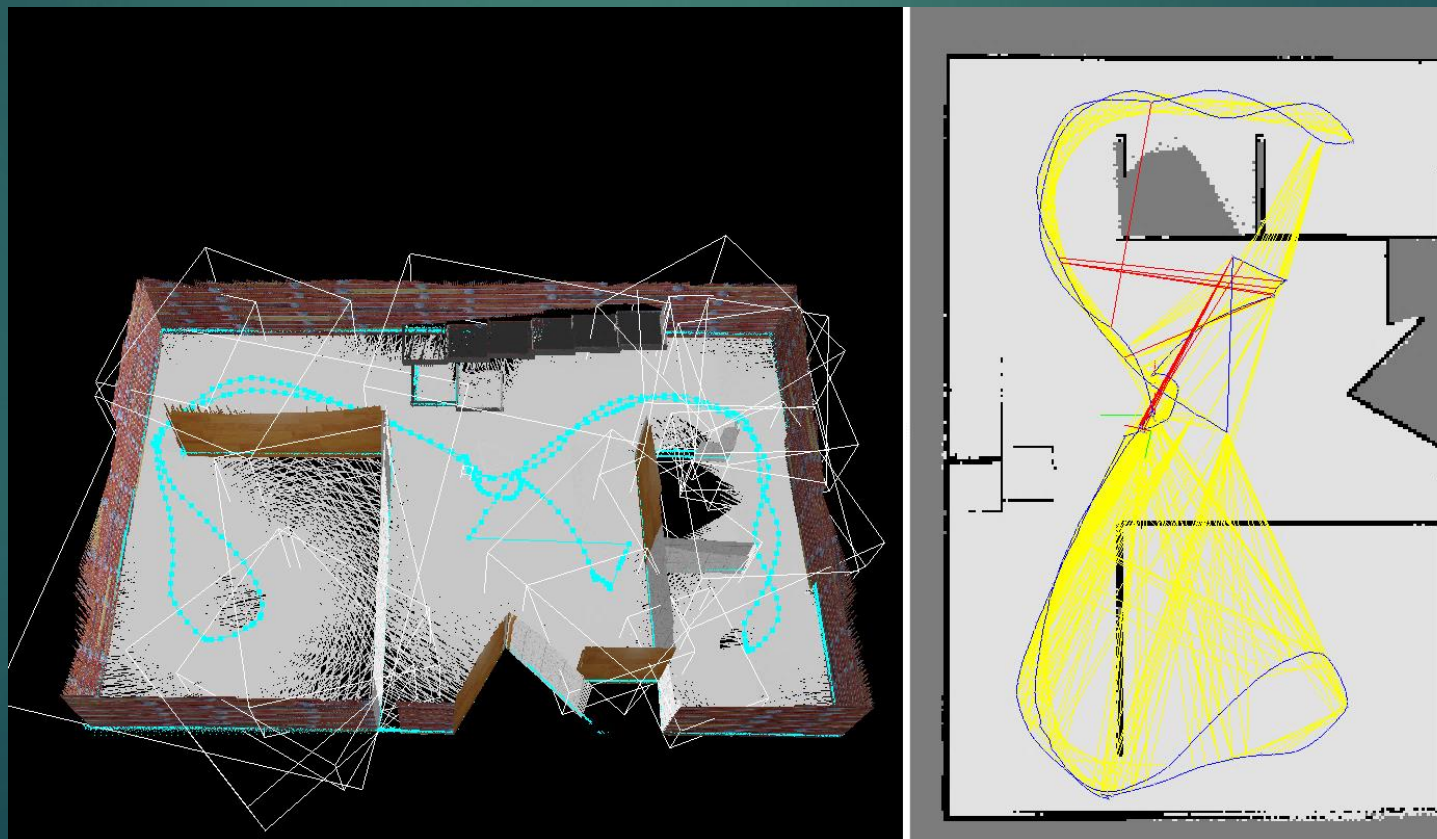
5





Текущие результаты:

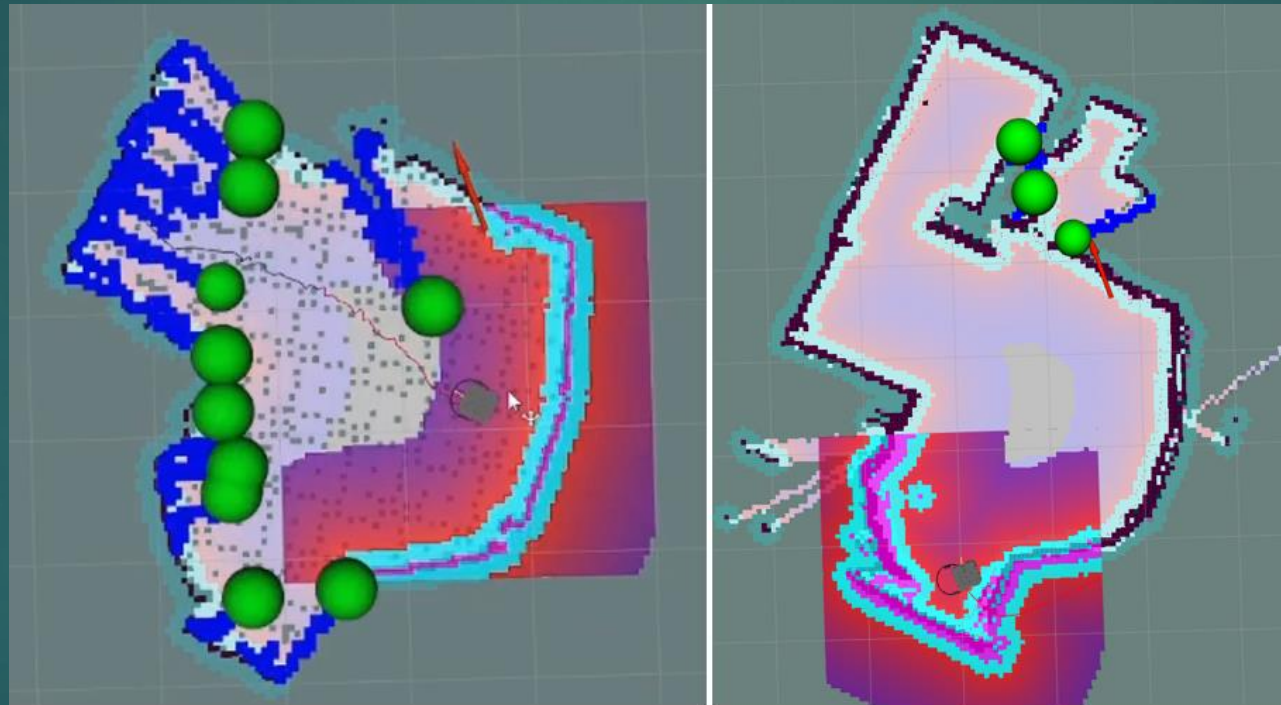
- ▶ Реализована система картографирования, локализации и навигации, структурная схема которой представлена ранее;
- ▶ Проведены испытания, в результате которых удалось восстановить виртуальную трёхмерную сцену, а также построить её карту в режим реального времени.





Текущие результаты:

Был изучен и реализован на физическом роботе алгоритм исследования неизвестного пространства на основе алгоритма пограничной разведки (frontier-based exploration).



Зеленым маркером помечены цели робота, находящиеся в очереди на посещение (они могут быть недостижимы).

Рисунок 5. Начало (слева) и конец (справа) работы алгоритма исследования



Реализация человеко-машинного интерфейса для установки целей движения робота

8

Для генерации предложений (датасета) возможных обращений человека к роботу были использованы 86 шаблонов, которые могут быть преобразованы в 3 понятные роботом команды:

- `взять(OBJ) движение(PLACE_1)`, подразумевает погрузку и перенос объекта из текущей точки A в точку B.
- `движение(PLACE_1) взять(OBJ) движение(обратно)`, подразумевает движение из пункта A в пункт B, погрузку объекта в данном пункте и движение обратно в пункт A с объектом.
- `взять(OBJ) движение(PLACE_1) движение(обратно)`, подразумевает погрузку объекта в пункте A, движение в пункт B, выгрузку объекта и движение обратно в пункт A.

Массив предметов сгенерирован из набора существительных русского языка размером в 50 тысяч слов.



Реализация человеко-машинного интерфейса для установки целей движения робота

9

Текущие результаты:

- ▶ Разработана ссылочная нейросетевая модель на основе Point Generation Network для распознавания команд управления на русском языке, а также реализован генератор предложений с завуалированными командами движения роботу.

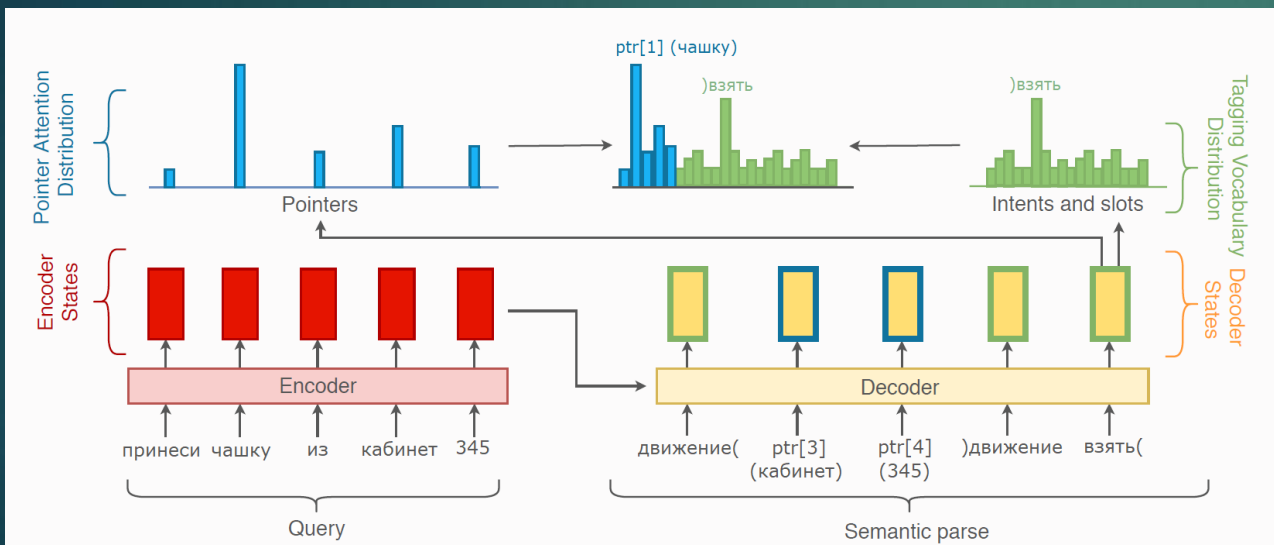


Рисунок 6. Структурная схема модели ссылочной нейронной сети для генерации команд робота из команды человека

Значения метрик:

Модель	BLEU	ACCURACY
ruSeg2Seg-ptr	98.6	81.2

Входные предложения	Распознанные предложения
<s> не сочтите за труд привезти кружку из медпункт пожалуйста </s>	<s> движение(медпункт) взять(кружку) движение(обратно) </s>
<s> принеси чашку из кабинет 345 </s>	<s> движение(кабинет 345) взять(чашку) движение(обратно) </s>
<s> переместись пожалуйста в библиотеку и отнеси им блокнот </s>	<s> взять(блокнот) движение(библиотеку) </s>
<s> отнеси посуду на склад</s>	<s> взять(посуду на склад) движение(на склад) </s>



Планы на будущее

1
0

- ▶ Разработка механизма максимально точного позиционирования агента за счёт объединения результатов одометрий с различных источников данных;
- ▶ Расширить систему картографирования, локализации и навигации для возможности применения совместно со стайным поведением;
- ▶ Объединение существующих и планируемых наработок с результатами других участников лаборатории.