

УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ РОБОТА-МАШИНКИ, СТРЕМЯЩЕГОСЯ ЗАНЯТЬ ЗАДАННУЮ ПОЗИЦИЮ

КАПИТОНОВ А.А. (АССИСТЕНТ КАФ. СУиИ, К.Т.Н.)

АРТЕМОВ К.А., АНТОНОВ Е.С. (Р4235)

СУЗДАЛЕВ О.Д., АЛ-НАИМ Р.И., КАРАБАЕВ А.А., ЗАМОТАЕВ Е.В.
(Р3235-36)

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для мобильного робота, по строению напоминающего настоящий автомобиль:

- реализовать систему технического зрения, определяющую положения окружающих робота предметов и его самого;
- реализовать графический интерфейс пользователя, позволяющий задавать желаемое положение робота (цель) и следить за его перемещением к ней ;
- реализовать систему управления движением робота, позволяющую ему достигнуть заданную цель и не столкнуться при этом ни с одним посторонним объектом.

ИСПОЛЬЗУЕМЫЙ РОБОТ



Рис. 1 Общий вид робота (вид спереди)

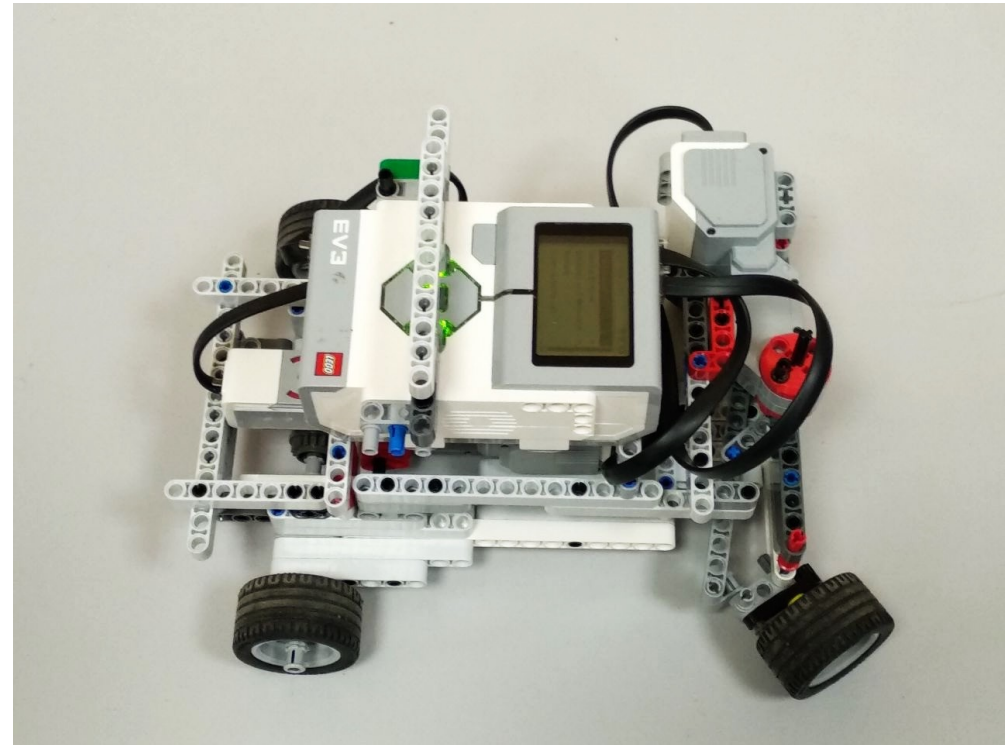


Рис. 2 Общий вид робота (вид сверху)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РОБОТА

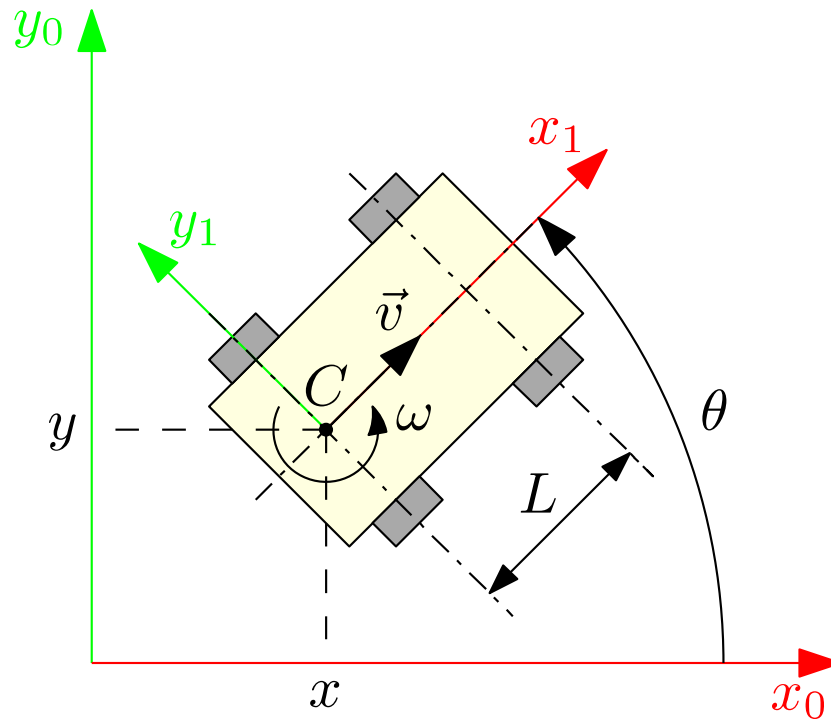


Рис. 3 Поясняющий
чертеж

$$\begin{cases} \dot{x} = v \cdot \cos \theta \\ \dot{y} = v \cdot \sin \theta \\ \dot{\theta} = \omega = \frac{v}{L} \tan \bar{\varphi} \end{cases}$$

Некоторые факты:

- При $v = 0$ робот стоит на месте;
- При $\omega > 0$ поворот вправо;
- При $\omega < 0$ поворот влево;
- При $v > 0$ движение вперед;
- При $v < 0$ движение назад;

Физические величины:

- x, y — координаты точки C в системе координат;
- θ — угол поворота робота относительно оси x_0 ;
- v — проекция скорости точки C на ось x_1 ;
- ω — угловая скорость робота;
- $\bar{\varphi}$ — угол поворота руля.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ

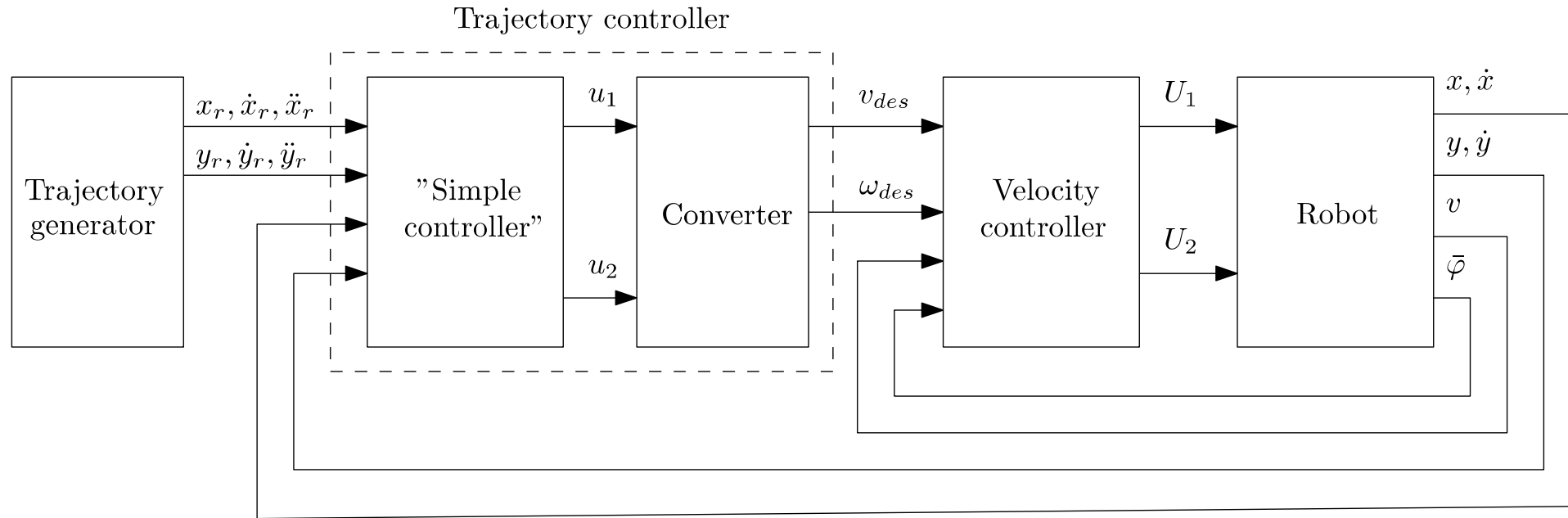


Рис. 4 Общая схема системы управления движением робота

U_1 (U_2) — напряжение, подаваемое на тяговый (рулевой) двигатель, выраженное в процентах максимального напряжения;

$\bar{\varphi}$ — угол поворота вала рулевого двигателя;

x_r — координаты, которые должен иметь робот в данный момент времени, чтобы следовать по желаемой траектории;

X_{des} — желаемое значение величины X

РЕГУЛЯТОР СКОРОСТЕЙ

Velocity controller

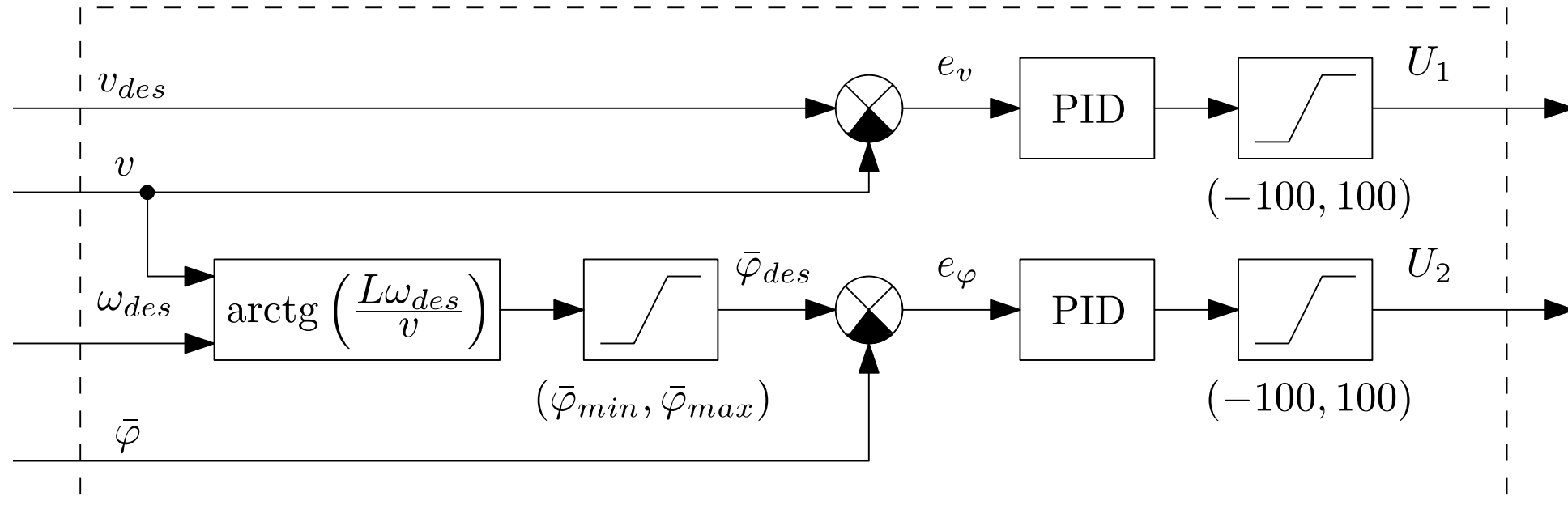


Рис. 5 Схема строения системы управления скоростями движения робота

РЕГУЛЯТОР СКОРОСТЕЙ

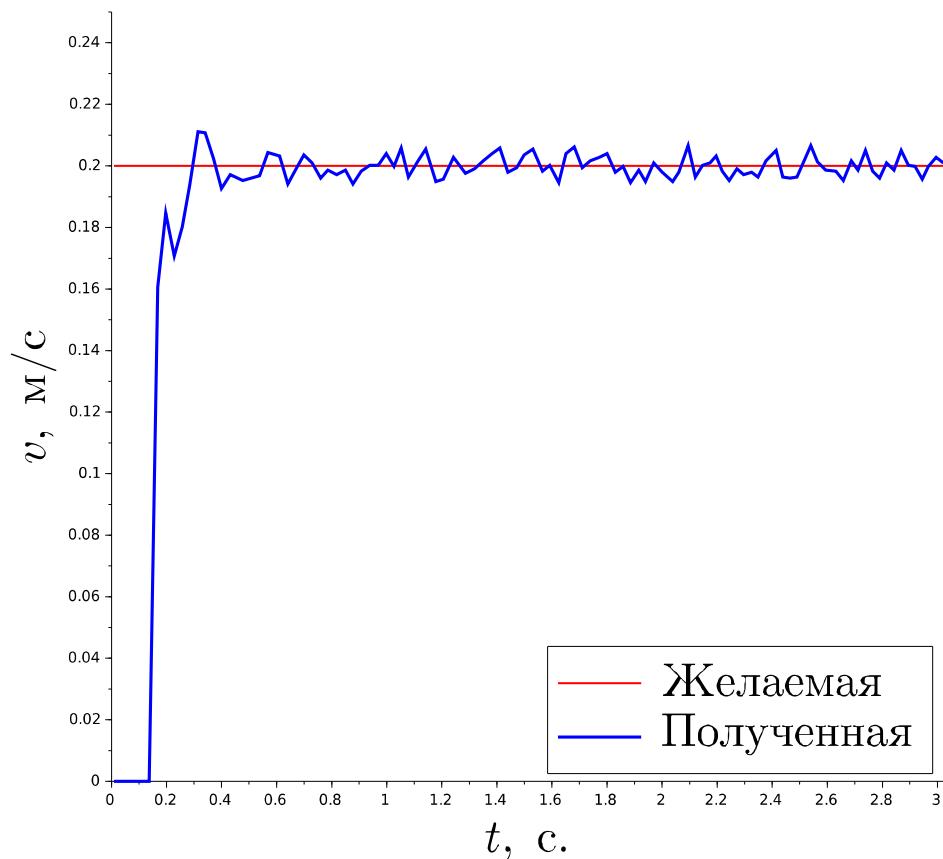


Рис. 6 Переходная функция регулятора, управляющего линейной скоростью

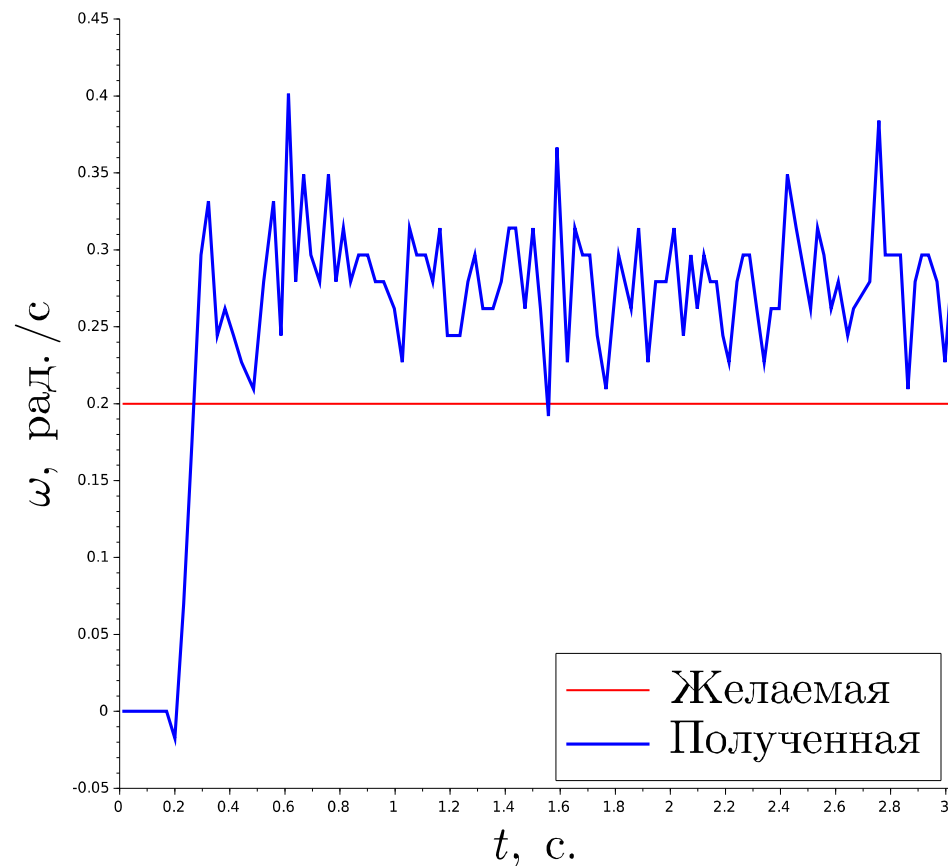


Рис. 7 Переходная функция регулятора, управляющего угловой скоростью

ТРАЕКТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ

Линеаризация модели ОУ и закон управления

- $$\begin{cases} \dot{x} = v \cos \theta \\ \dot{y} = v \sin \theta \\ \dot{\theta} = \omega \end{cases}$$
- $$\begin{cases} \dot{\xi} = u_1 \cos \theta + u_2 \sin \theta \\ v = \xi \\ \omega = \frac{-u_1 \sin \theta + u_2 \cos \theta}{\xi} \end{cases}$$
- $$\begin{cases} \ddot{x} = u_1 \\ \ddot{y} = u_2 \end{cases}$$
- $$\begin{cases} u_1 = \ddot{x}_r + k_{p1}(x_r - x) + k_{d1}(\dot{x}_r - \dot{x}), \\ u_2 = \ddot{y}_r + k_{p2}(y_r - y) + k_{d2}(\dot{y}_r - \dot{y}) \end{cases}$$

Формулы при практической реализации

- $$\begin{cases} \dot{\xi} = u_1 \cos \theta + u_2 \sin \theta, \\ v_{des} = \bar{\xi}, \\ \omega_{des} = \bar{\omega}_{des}, \end{cases}$$
- $$\bar{\omega}_{des} = \begin{cases} \frac{-u_1 \sin \theta + u_{des} \cos \theta}{\bar{\xi}}, & \bar{\xi} \neq 0 \\ 0, & \bar{\xi} = 0 \end{cases}$$
- $$\bar{\xi} = \begin{cases} \xi, & \xi \in (-v_{\max}, v_{\max}) \\ v_{\max}, & \xi \geq v_{\max} \\ -v_{\max}, & \xi \leq -v_{\max} \end{cases}$$

ТРАЕКТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ

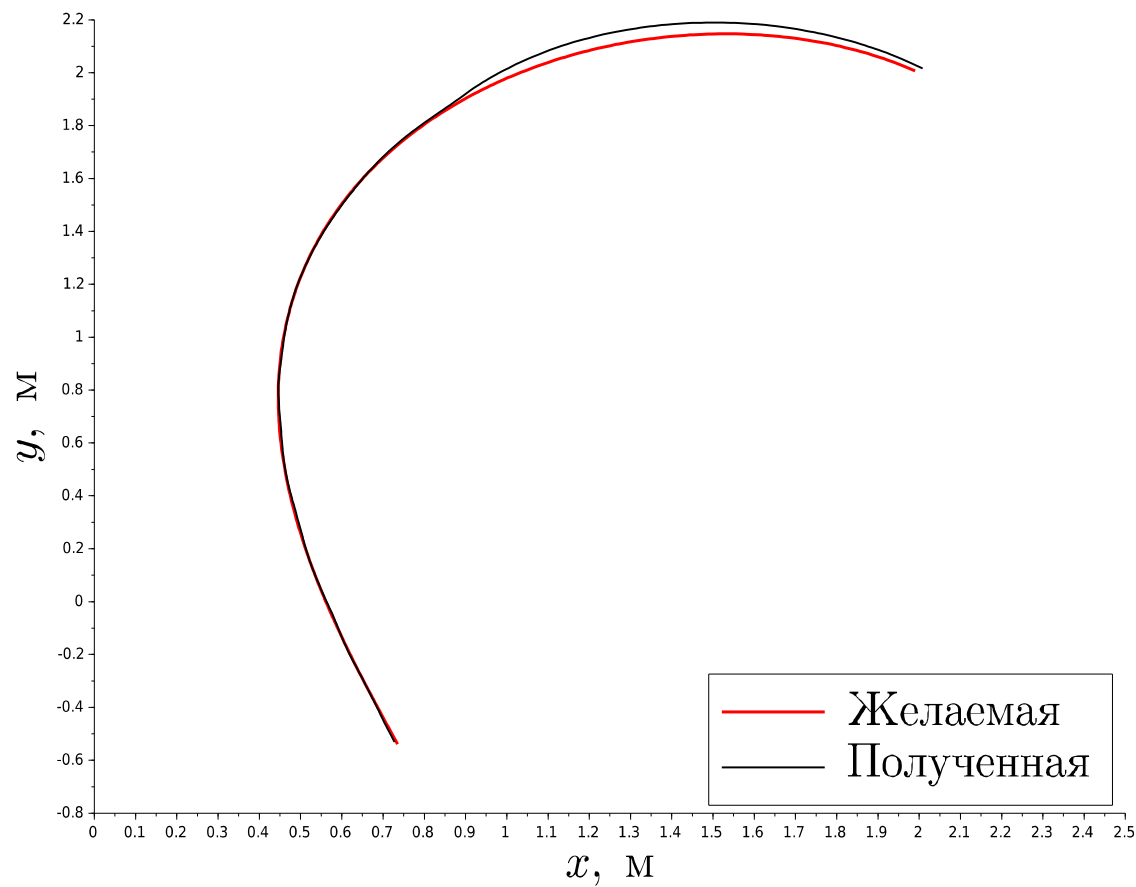


Рис. 8 Результат отработки роботом траектории типа клотоида

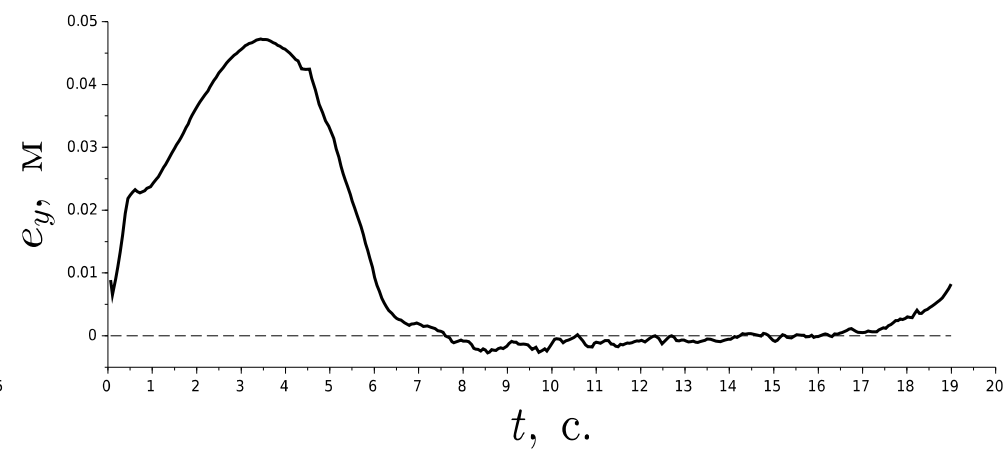
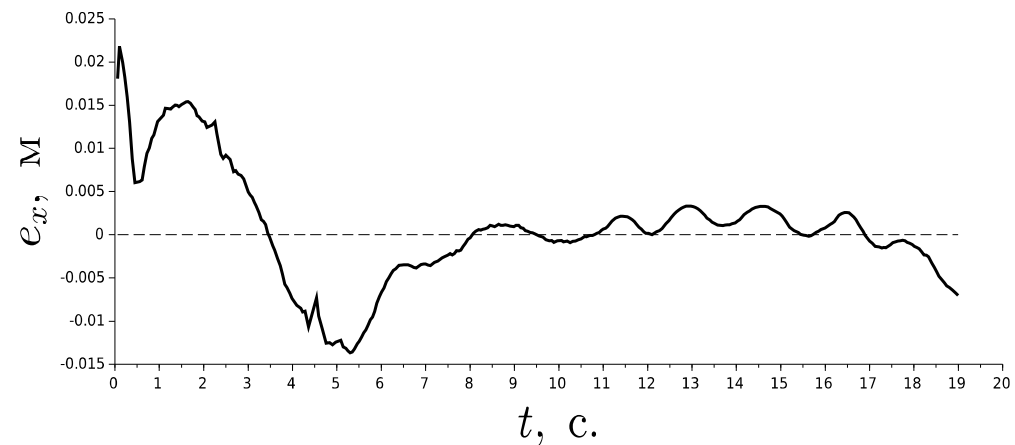


Рис. 9 Ошибки управления

ПЛАНИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИЙ ДВИЖЕНИЯ

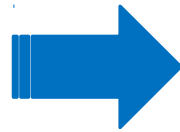


Рис. 10 Иллюстрация к процессу поиска
пути до цели

DOMOKOS KISS AND GÁBOR TEVESZ, "AUTONOMOUS PATH PLANNING FOR ROAD VEHICLES IN NARROW ENVIRONMENTS: AN EFFICIENT CONTINUOUS CURVATURE APPROACH," JOURNAL OF ADVANCED TRANSPORTATION, VOL. 2017, ARTICLE ID 2521638, 27 PAGES, 2017.

ПЛАНИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИЙ ДВИЖЕНИЯ

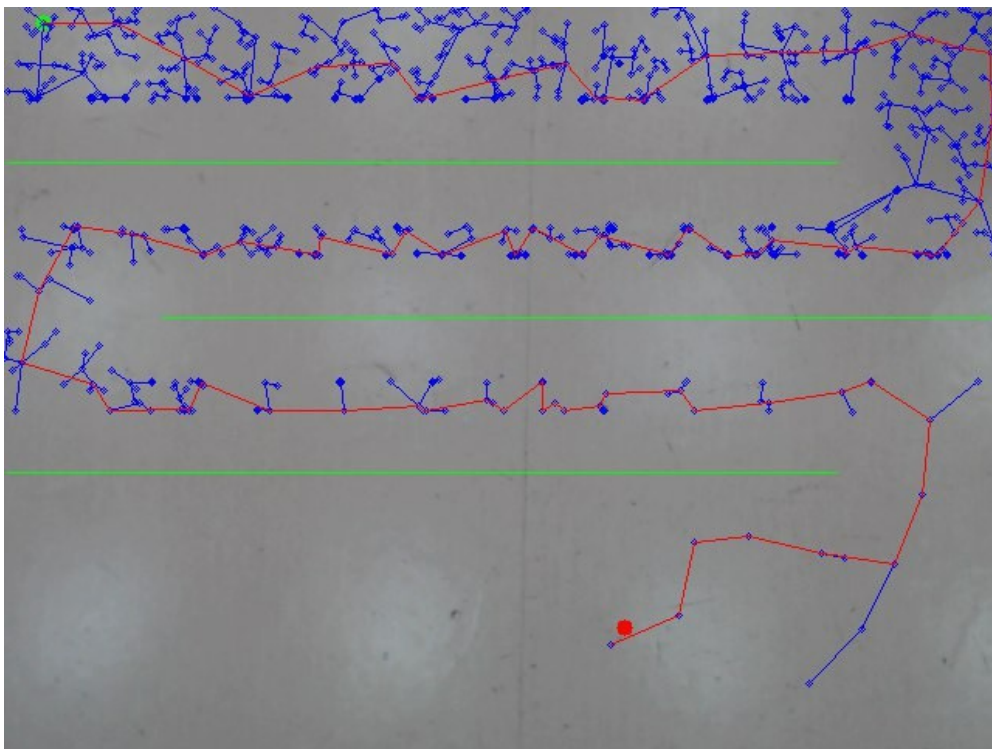


Рис. 11 Результат работы алгоритма RRT

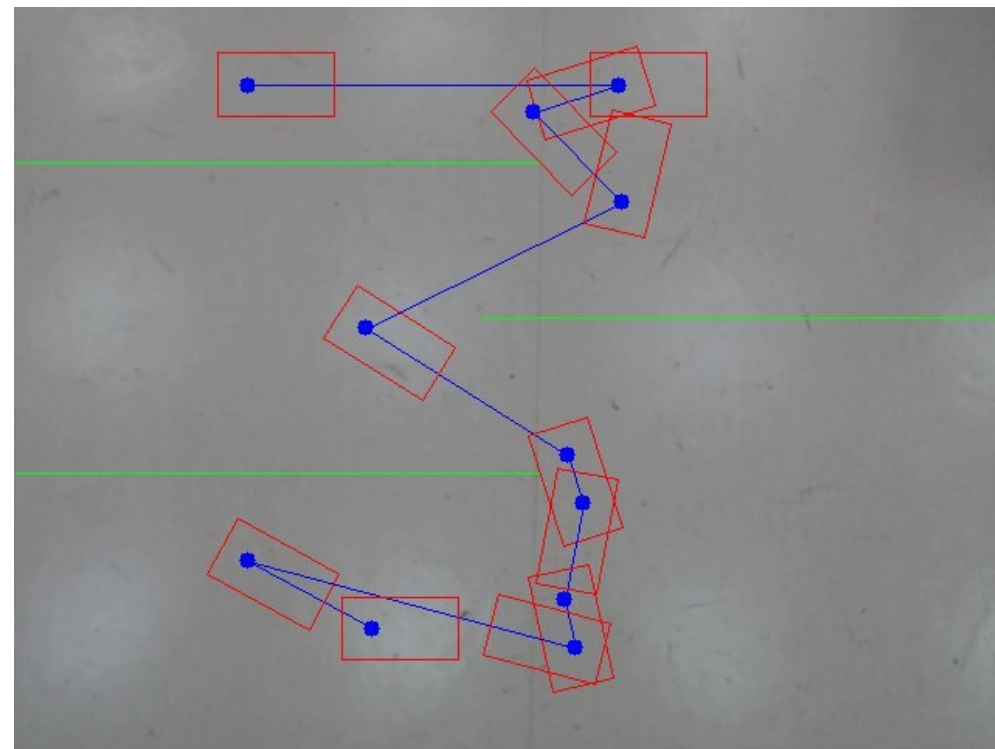


Рис. 12 Результат работы алгоритма RTR

ПЛАНИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИЙ ДВИЖЕНИЯ

$$\begin{cases} x_{in}(s) = \gamma \sqrt{\frac{\pi}{|\alpha|}} \cdot C_F \left(\sqrt{\frac{|\alpha|}{\pi}} s \right), \\ y_{in}(s) = \gamma \operatorname{sign} \alpha \sqrt{\frac{\pi}{|\alpha|}} \cdot S_F \left(\sqrt{\frac{|\alpha|}{\pi}} s \right) \end{cases}$$

$$\begin{cases} x_{out}(s) = -\gamma \sqrt{\frac{\pi}{|\alpha|}} \cdot C_F \left(\sqrt{\frac{|\alpha|}{\pi}} (2s_{end} - s) \right), \\ y_{out}(s) = \gamma \operatorname{sign}(\alpha) \sqrt{\frac{\pi}{|\alpha|}} \cdot S_F \left(\sqrt{\frac{|\alpha|}{\pi}} (2s_{end} - s) \right) \end{cases}$$

$$\begin{cases} C_F(x) = \int_0^x \cos \left(\frac{\pi}{2} \mu^2 \right) d\mu \approx \frac{1}{2} + f(x) \sin \left(\frac{\pi}{2} x^2 \right) - g(x) \cos \left(\frac{\pi}{2} x^2 \right), \\ S_F(x) = \int_0^x \sin \left(\frac{\pi}{2} \mu^2 \right) d\mu \approx \frac{1}{2} - f(x) \cos \left(\frac{\pi}{2} x^2 \right) - g(x) \sin \left(\frac{\pi}{2} x^2 \right), \\ f(x) = \frac{1 + 0.926x}{2 + 1.792x + 3.104x^2}, \quad g(x) = \frac{1}{2 + 4.142x + 3.492x^2 + 6.670x^3} \end{cases}$$

$$\alpha = \frac{d\kappa}{ds} = \operatorname{const}$$

$\kappa = 1/\rho$ — кривизна

ρ — радиус кривизны

$$\gamma \in \{-1; 1\}$$

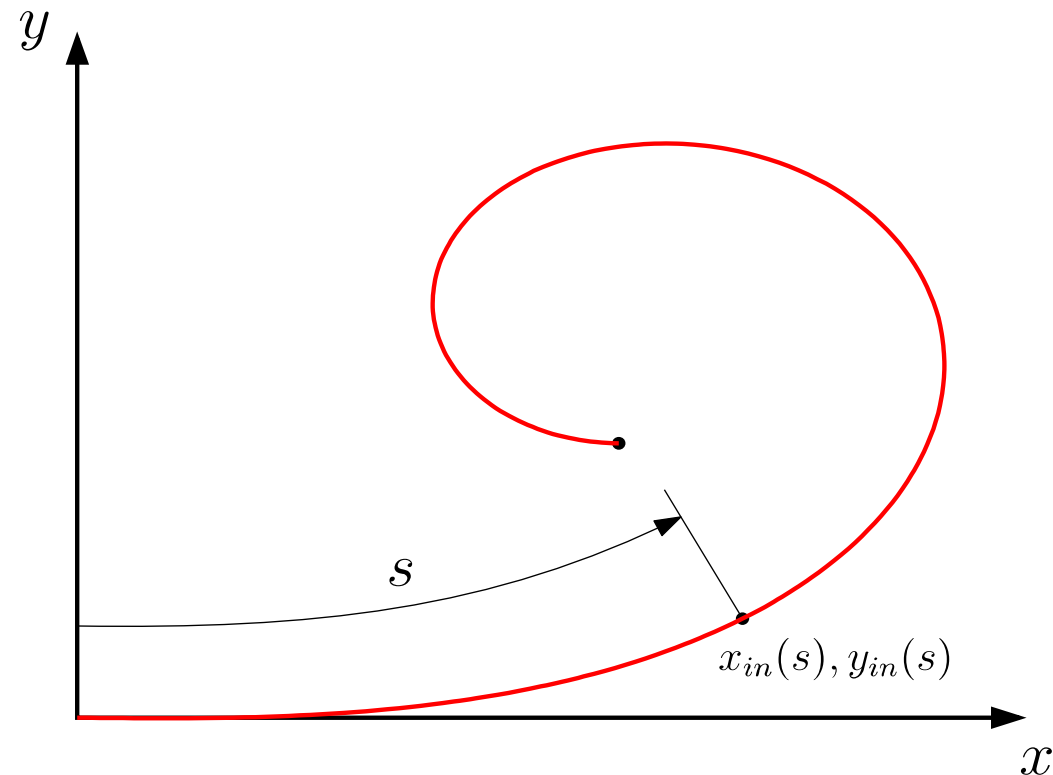


Рис. 13 Внешний вид
клотоиды

ПЛАНИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИЙ ПРИЖЕНИЯ

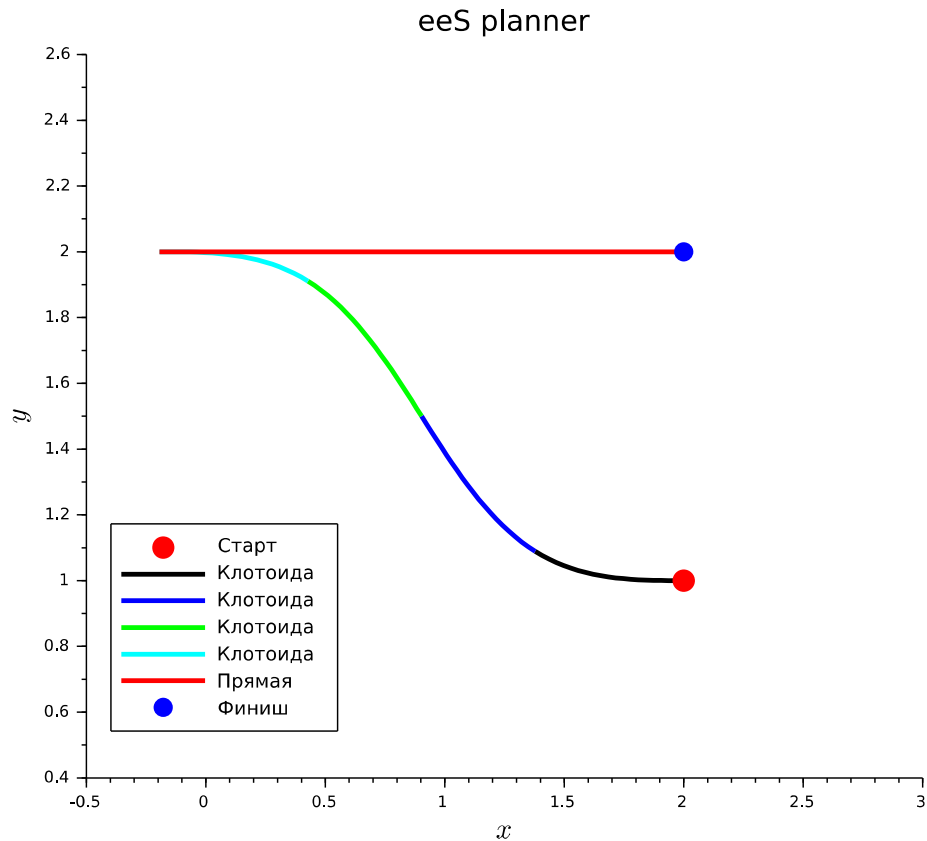


Рис. 14 Траектория с
планировщика eeS

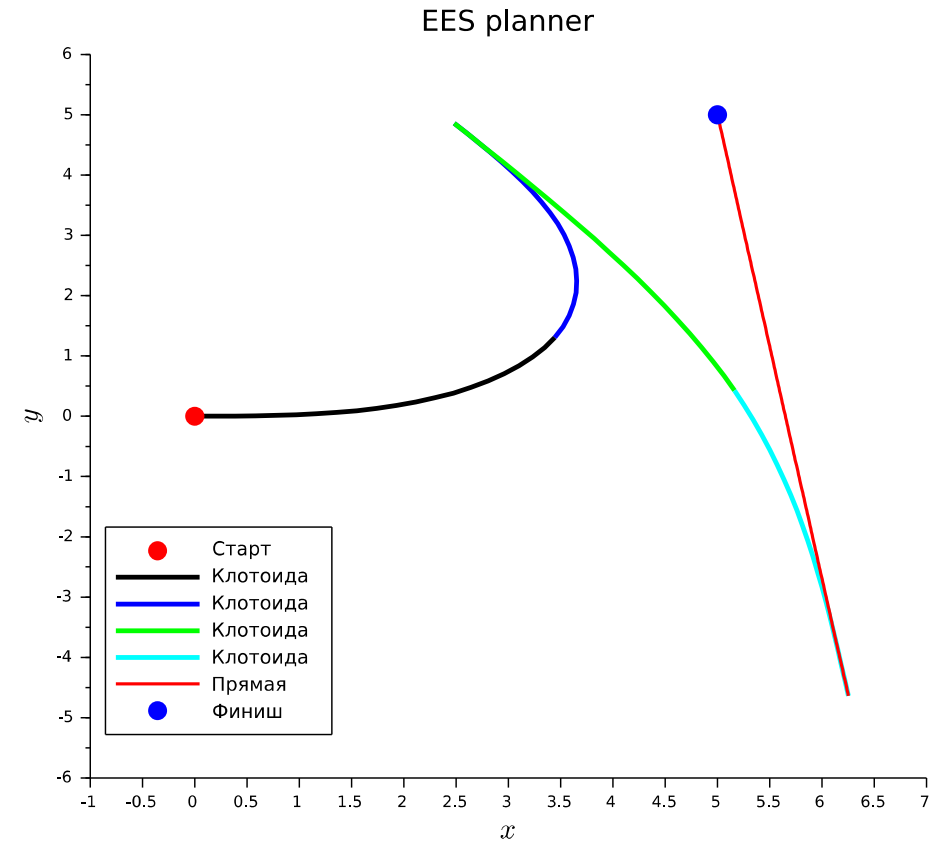


Рис. 15 Траектория с
планировщика EES

ПЛАНИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИЙ ДВИЖЕНИЯ

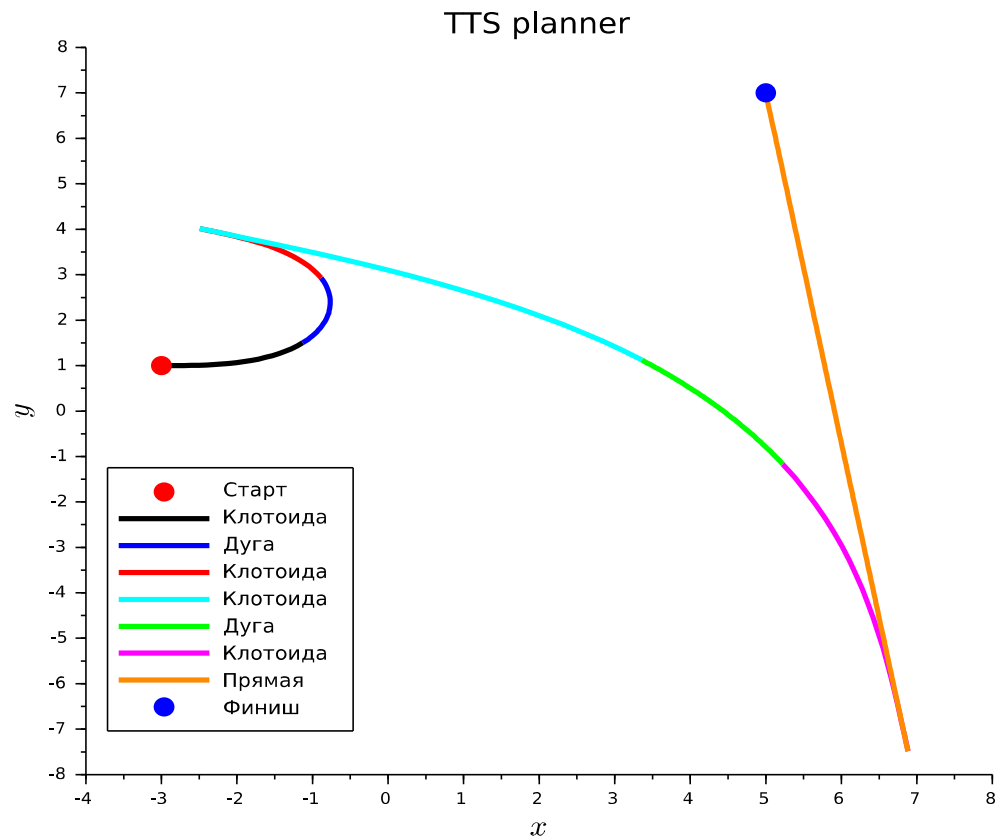


Рис. 16 Траектория с планировщика TTS

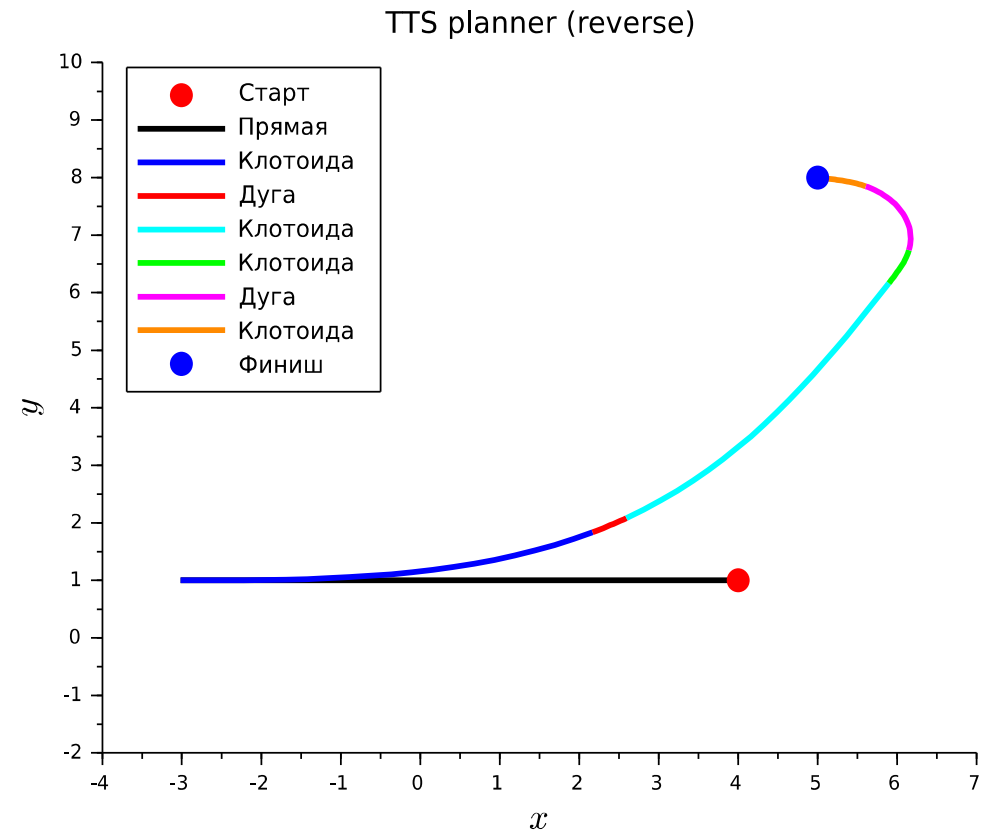


Рис. 17 Траектория с планировщика TTS, при обратном направлении поиска

СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

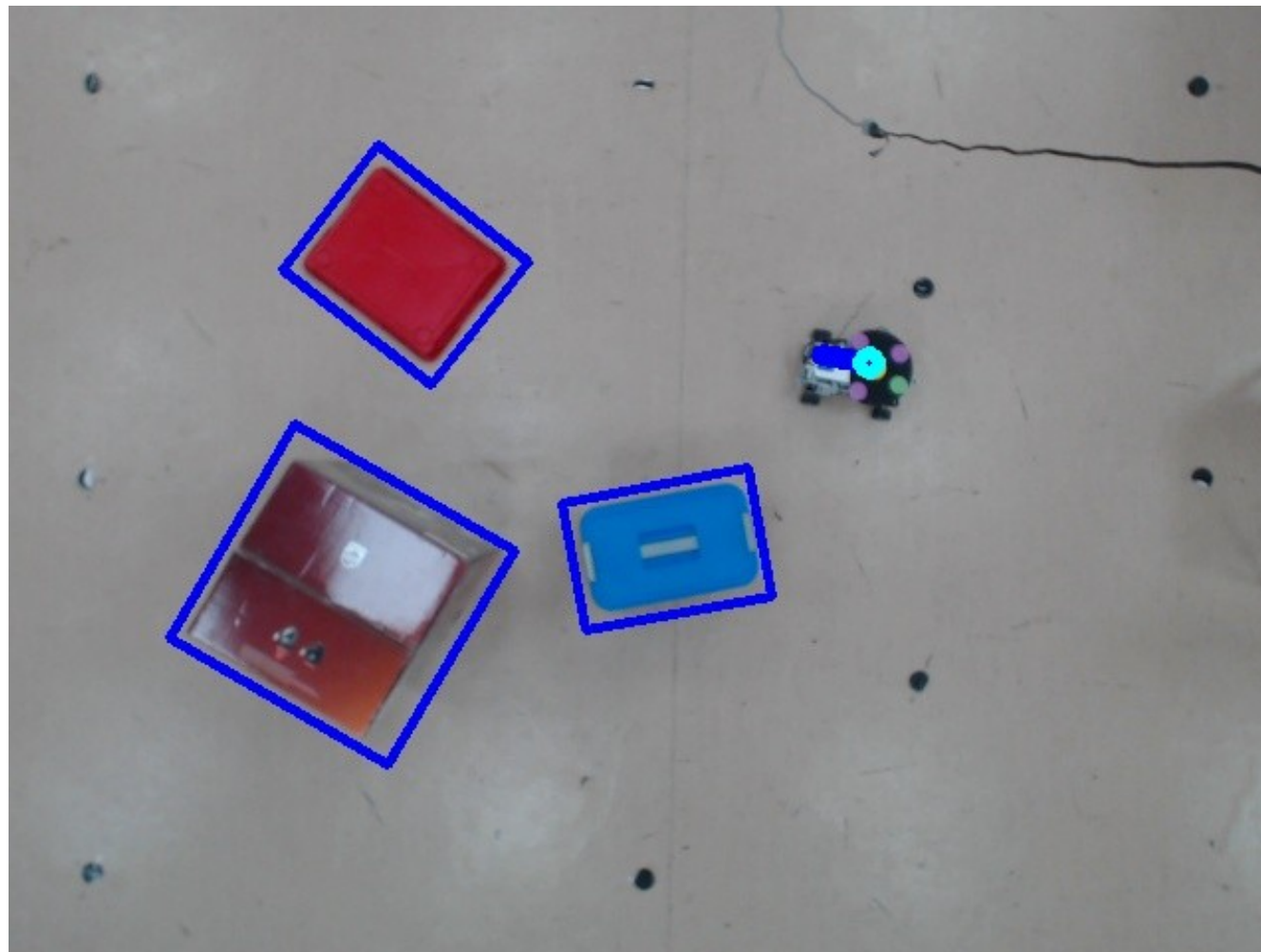


Рис. 18 Результат поиска алгоритмами тех. зрения положений препятствий и робота

ГРАФИЧЕСКИЙ ИНТЕРФЕЙС ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

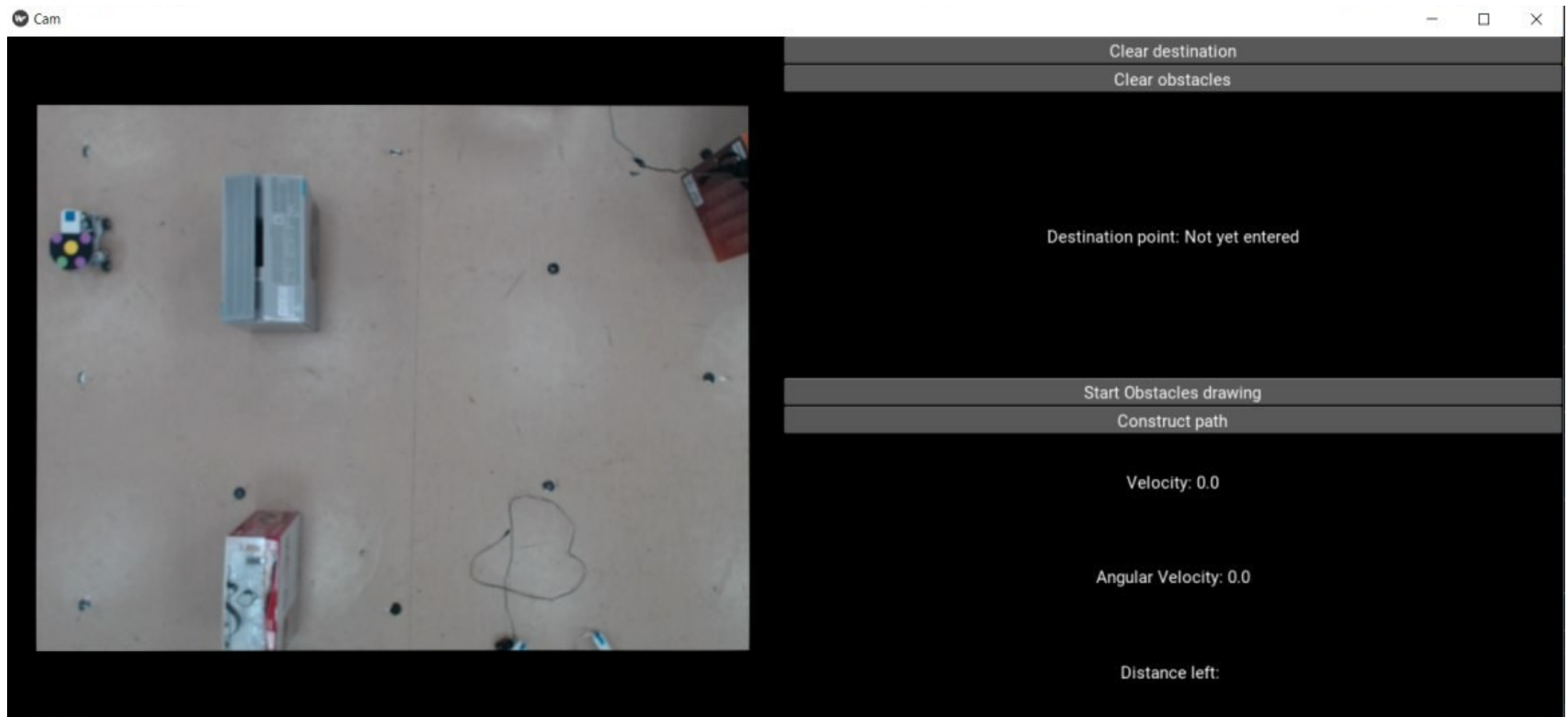


Рис. 19 Внешний вид разработанного приложения

ГРАФИЧЕСКИЙ ИНТЕРФЕЙС ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

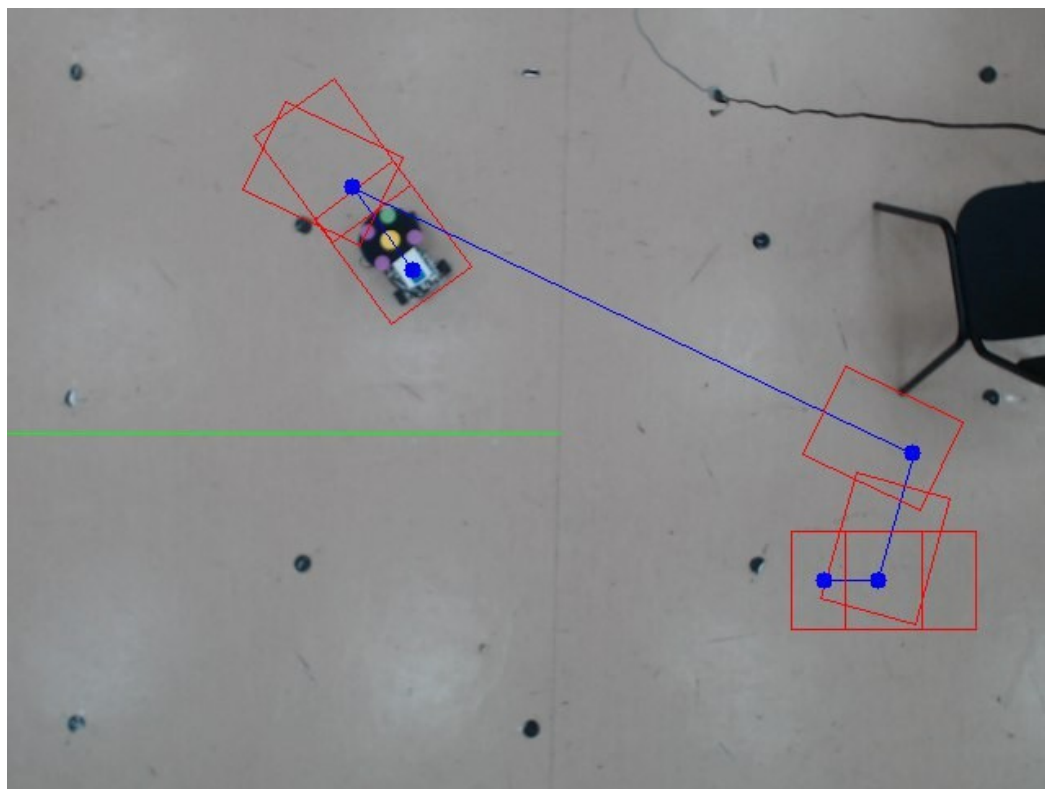


Рис. 20 Визуализация
глобального пути

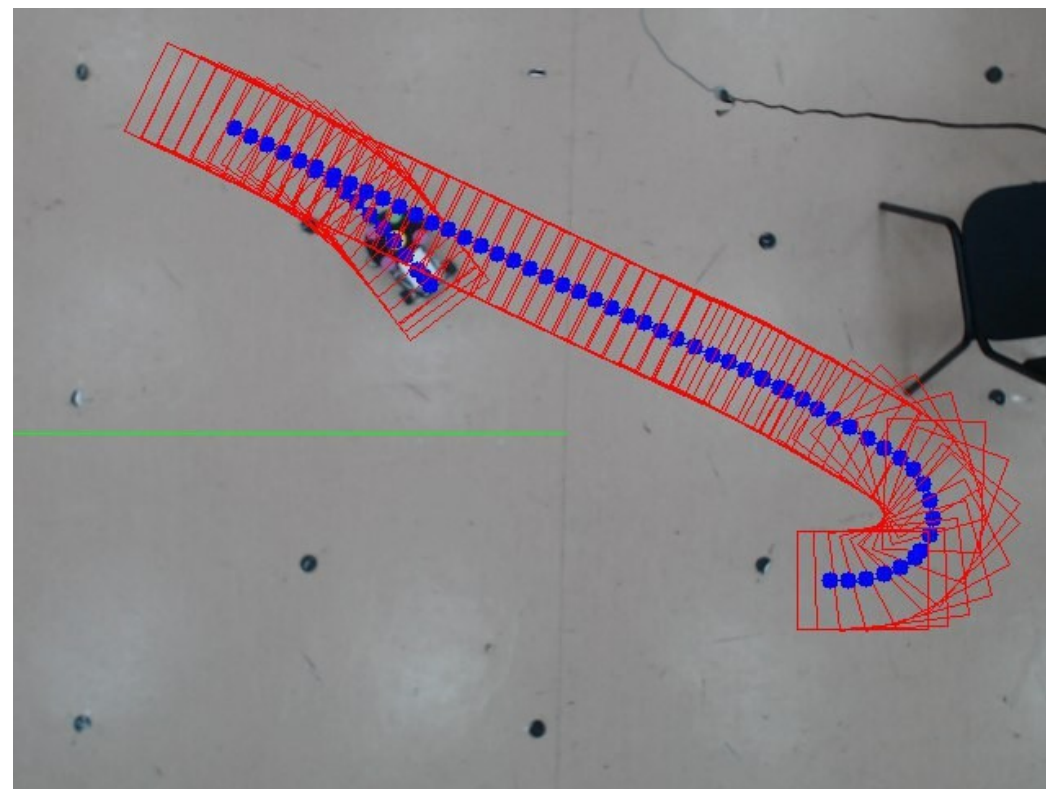


Рис. 21 Визуализация результата
аппроксимация пути

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Что мы сделали

- Разработали систему управления движением робота
- Вероятно, первые в мире реализовали RTR и TTS планеры на настоящем роботе
- Разработали систему технического зрения, выполняющую задачи навигации
- Разработали управляющее приложение с GUI

- Что можно еще сделать

- Улучшить качество управления угловой скоростью
- Реализовать плавные разгон и торможение робота
- Увеличить стабильность работы системы
- Перейти на ROS



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ