

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ,
МЕХАНИКИ И ОПТИКИ

Кафедра систем управления и информатики

Отчет по практической работе
«РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПАРКОВКИ
РОБОТА-МАШИНКИ»
по дисциплине
«Бесконтактные средства локальной ориентации роботов»

Выполнили: студенты гр. Р4235
Антонов Е. С.,
Артемов К. А.
Преподаватель: Власов С. М.,
ассистент каф. СУиИ

Санкт-Петербург
2017

Содержание

Введение	3
1 Особенности строения робота	4
2 Управление движением робота	6
2.1 Кинематическая модель	6
2.2 Локализация робота	7
2.3 Структура системы управления	8
3 Поиск парковочного места	14
4 Планирование траекторий движения	16
Заключение	18
Список использованных источников	19
Приложение А Описание экспериментов по проверке состоятельности использованных методов локализации робота с помощью сторонней системы технического зрения	20

Введение

Данный документ призван познакомить читателей с результатами работы авторов над задачей создания системы управления для робота-машинки, которая бы давала ему способность автоматически (самостоятельно) выполнять параллельную парковку.

Более конкретно ее можно описать примерно так.

Имеется робот-машинка, ходовая часть которого устроена примерно так же, как у настоящего заднеприводного автомобиля: один из пары его двигателей приводит во вращение задние колеса, второй отвечает за поворот передних, рулевых колес. Данный робот должен проехать вдоль возможного места парковки, обозначенного с помощью посторонних объектов, имитирующих собой другие стоящие неподвижно транспортные средства (см. рисунок 1), оценить его геометрические параметры, необходимые для совершения маневра, характерного для параллельной парковки, и, собственно, проделать последний.

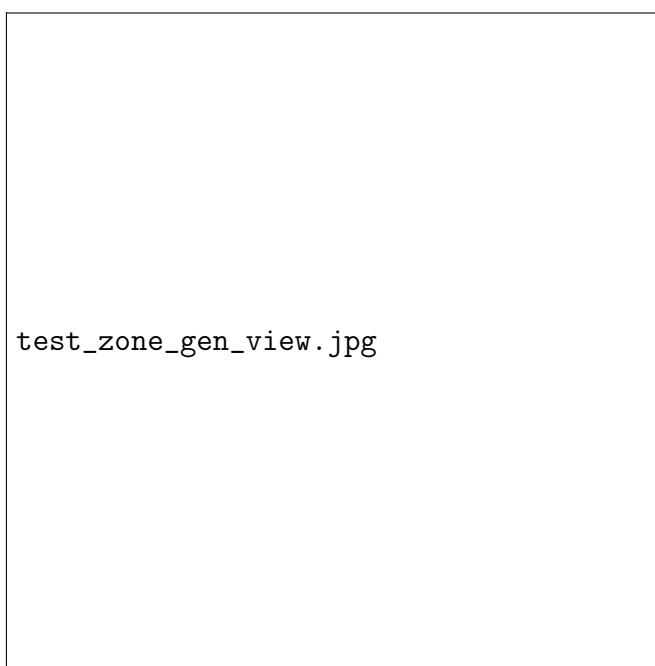


Рисунок 1 – Общий вид зоны проведения экспериментов.

Для ее решения авторам пришлось проработать следующие технические вопросы:

- создание упомянутого робота из конструктора LEGO Mindstorms EV3;
- подбор для него датчиков и программная реализация алгоритмов обработки поступающей с них информации;
- проектирование системы управления движением робота;
- создание алгоритма картирования парковочного места и его окрестностей.

Описанию их ключевых моментов и посвящена основная часть этого документа.

1 Особенности строения робота

Особенности строения использованного в работе робота-машинки (см. рисунок 3) даются следующим перечислением:

- робот собран из конструктора LEGO Mindstorms EV3;
- робот имеет два двигателя со встроенными энкодерами, один из которых (тяговый, 1) приводит в движение задние колеса, а второй (рулевой, 2) поворачивает передние;
- усилие с тягового двигателя на задние колеса передается через дифференциал 3 с передаточным отношением, обеспечивающим равенство угловой скорости вращения вала двигателя с полусуммой угловых скоростей задних колес;
- рулевые колеса связаны друг с другом и с рулевым двигателем через рулевую трапецию, кинематическая схема которой изображена на рисунке 2;

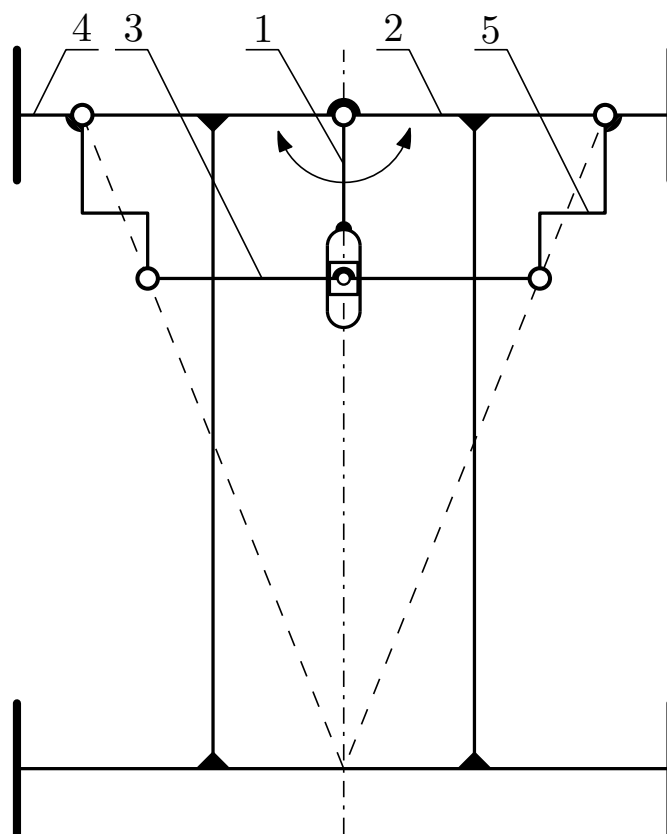
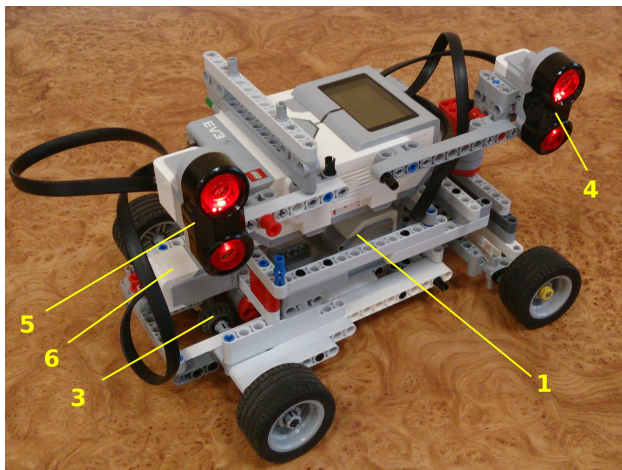
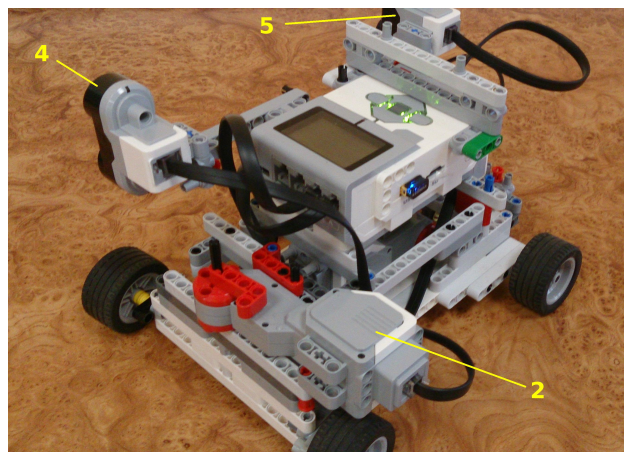


Рисунок 2 – Кинематическая схема рулевой трапеции: 1 — коромысло, приводимое в движение рулевым двигателем, 2 — шасси робота, 3 — шатун, 4,5 — коромысла, жестко соединенные с осями вращения передних колес.

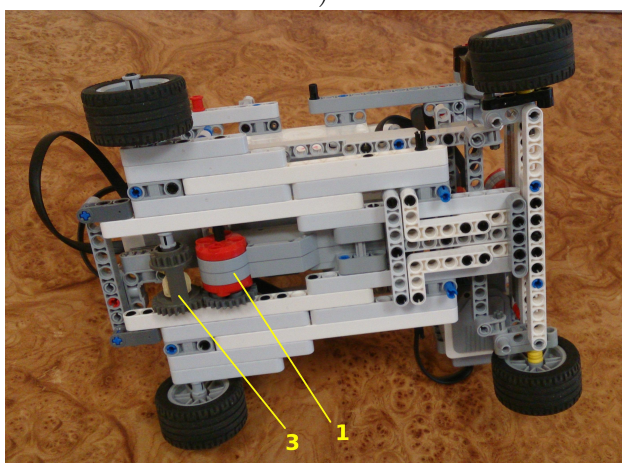
- для измерения расстояний до объектов окружающей среды робот имеет два ультразвуковых дальномера 4, 5;
- для определения собственного угла поворота и угловой скорости робот снабжен возвращающим их датчиком-гироскопом 6.



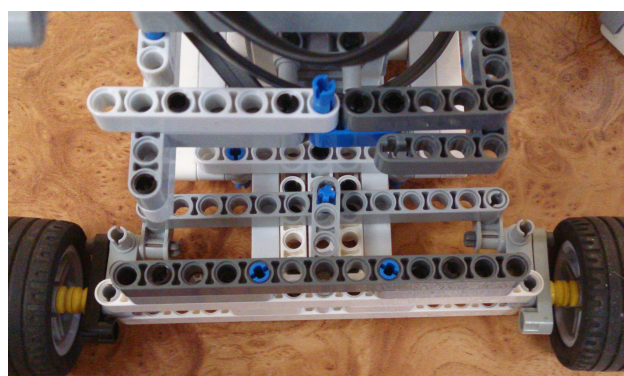
а)



б)



в)



г)

Рисунок 3 – Внешний вид использованного в работе робота-машинки: а — с одного из бортов, б — с другого, в — снизу, г — спереди без рулевого двигателя и некоторых его креплений.

2 Управление движением робота

2.1 Кинематическая модель

Кинематическая модель робота имеет вид [1]:

$$\begin{cases} \dot{x} = v \cos \theta \\ \dot{y} = v \sin \theta \\ \dot{\theta} = \omega \end{cases} \quad (1)$$

где x, y — декартовы координаты точки C , являющейся серединой задней оси (см. рисунок 4); θ — угол поворота робота (угол между осями абсцисс неподвижной системы координат Ox_0y_0 и системы координат Ox_1y_1 , жёстко связанной с роботом); v — проекция скорости \vec{v} точки C на ось абсцисс системы координат $Ox_1y_1^*$; ω — угловая скорость вращения робота.

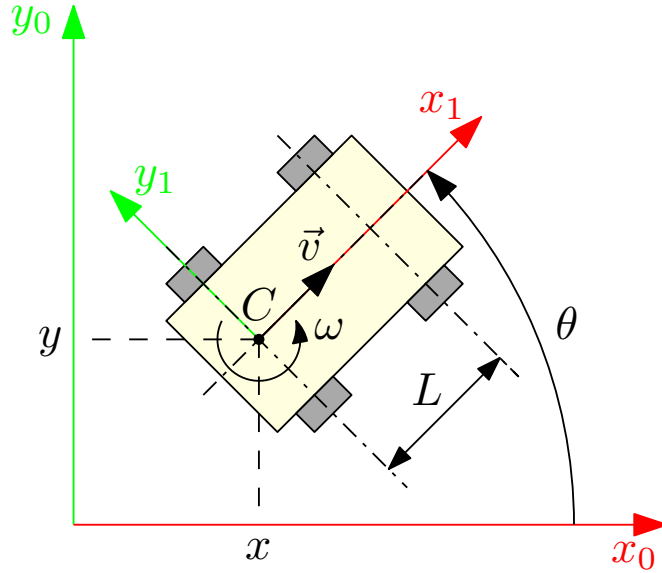


Рисунок 4 – Чертеж-пояснение к кинематической модели робота.

Угловая скорость ω для робота-машинки с одним поворотным колесом оказывается связанной с углом его поворота φ выражением [1]

$$\omega = \frac{v}{L} \operatorname{tg} \varphi. \quad (2)$$

Это равенство получается объединением следующих двух уравнений:

$$\omega = \frac{v}{R}, \quad (3)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{L}{R}, \quad (4)$$

где R — радиус дуги, по которой движется робот, а точнее точка C (см. рисунок 5).

Так как у робота из данной работы колеса два, и примененная в нем рулевая трапеция не обеспечивает их точного поворота на те углы, при которых они не будут проскальзывать в

* В данной работе проскальзывание задних колес робота считается отсутствующим, а, следовательно, вектор \vec{v} — всегда коллинеарным оси абсцисс системы координат Ox_1y_1 .

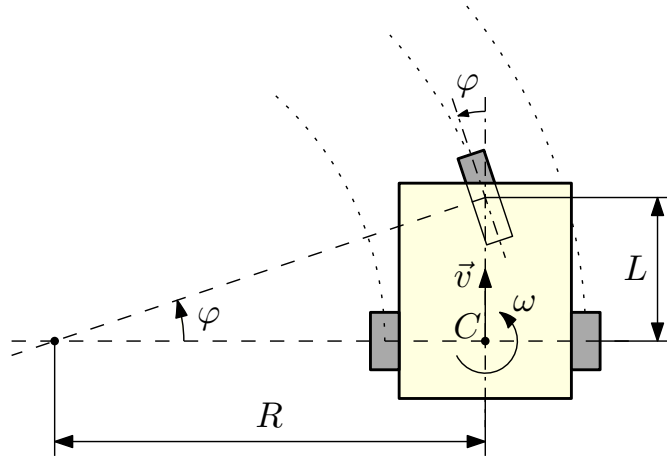


Рисунок 5 – Движение робота с одним рулевым колесом по дуге.

поперечном направлении [2], использование по отношению к нему выражений (2)–(4), строго говоря, невозможно. При этом с ожиданием получения от нее приближенных, но близких к истинным результатов расчетов первое из этих выражений в форме

$$\omega = \frac{v}{L} \operatorname{tg} \bar{\varphi}. \quad (5)$$

где $\bar{\varphi}$ — угол поворота вала рулевого двигателя, все же используется в данной работе. Основанием этого решения являются результаты «моделирования» работы рулевой трапеции в программе GeoGebra (см. рисунок 6), согласно которым перпендикуляры к передним колесам и поворотному коромыслу не пересекаются на прямой, проходящей через ось вращения задних колес, совсем немного.

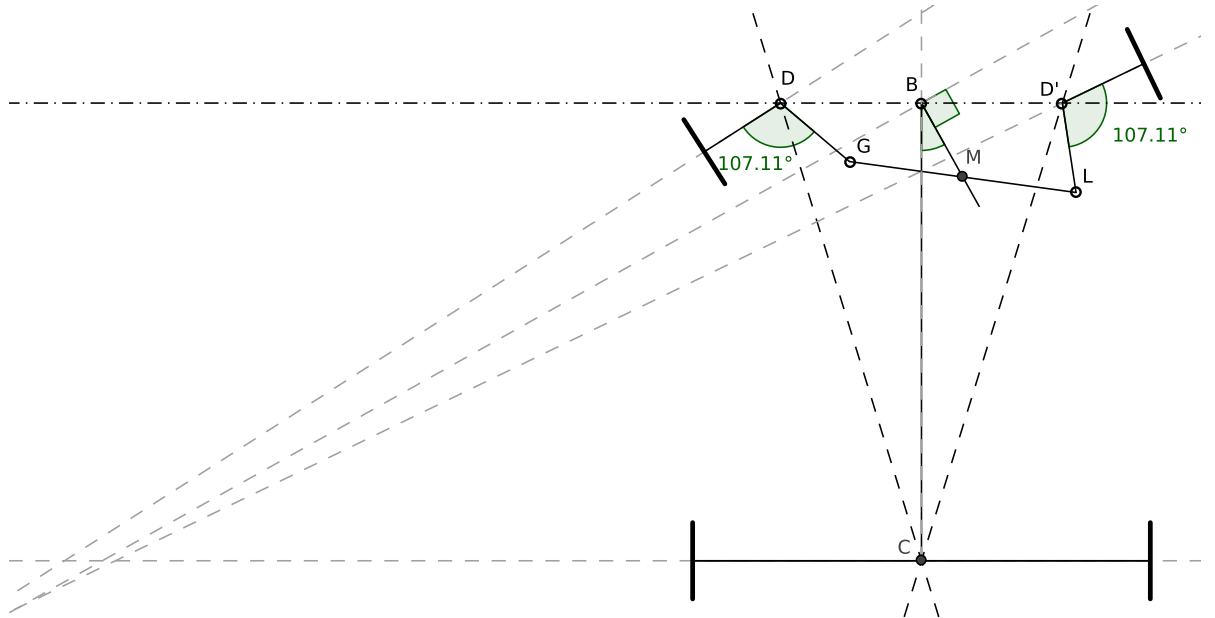


Рисунок 6 – Рулевая трапеция в смещенном относительно центрального положении ($\angle CBM = \bar{\varphi}$, $GM = ML$, $|BM| = var$).

2.2 Локализация робота

В качестве угла θ и угловой скорости ω в работе использовались угол и угловая скорость, возвращаемые установленным на робота датчиком-гироскопом. Координаты x и

y , в свою очередь, непосредственно не измерялись, а рассчитывались с использованием первых двух уравнений модели (1). При этом линейная скорость точки C с учетом третьего пункта перечня, представленного в разделе 1, определялась в соответствии со следующим выражением

$$v = \underline{\omega} r, \quad (6)$$

где $\underline{\omega}$ — угловая скорость вращения вала тягового двигателя, r — радиус задних колес робота.

Состоятельность описанного принципа локализации робота была проверена с помощью сторонней системы технического зрения. Подробности соответствующих экспериментов и полученные результаты доступны в Приложении А.

2.3 Структура системы управления

Общая структура системы управления движением робота, позволяющая ему двигаться по желаемой траектории, показана на рисунке 7. Указанные на ней физические величины, ранее не упоминавшиеся в тексте данного отчета, значат следующее:

U_1 (U_2) — напряжение, подаваемое на тяговый (рулевой) двигатель, выраженное в процентах от максимального напряжения (знак определяет направление вращения);

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

$\bar{\varphi}_{min}$, $\bar{\varphi}_{max}$ — его минимальное и максимальное значения ($\bar{\varphi}_{min} = -\bar{\varphi}_{max}$);

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

X_{des} — желаемое значение величины X .

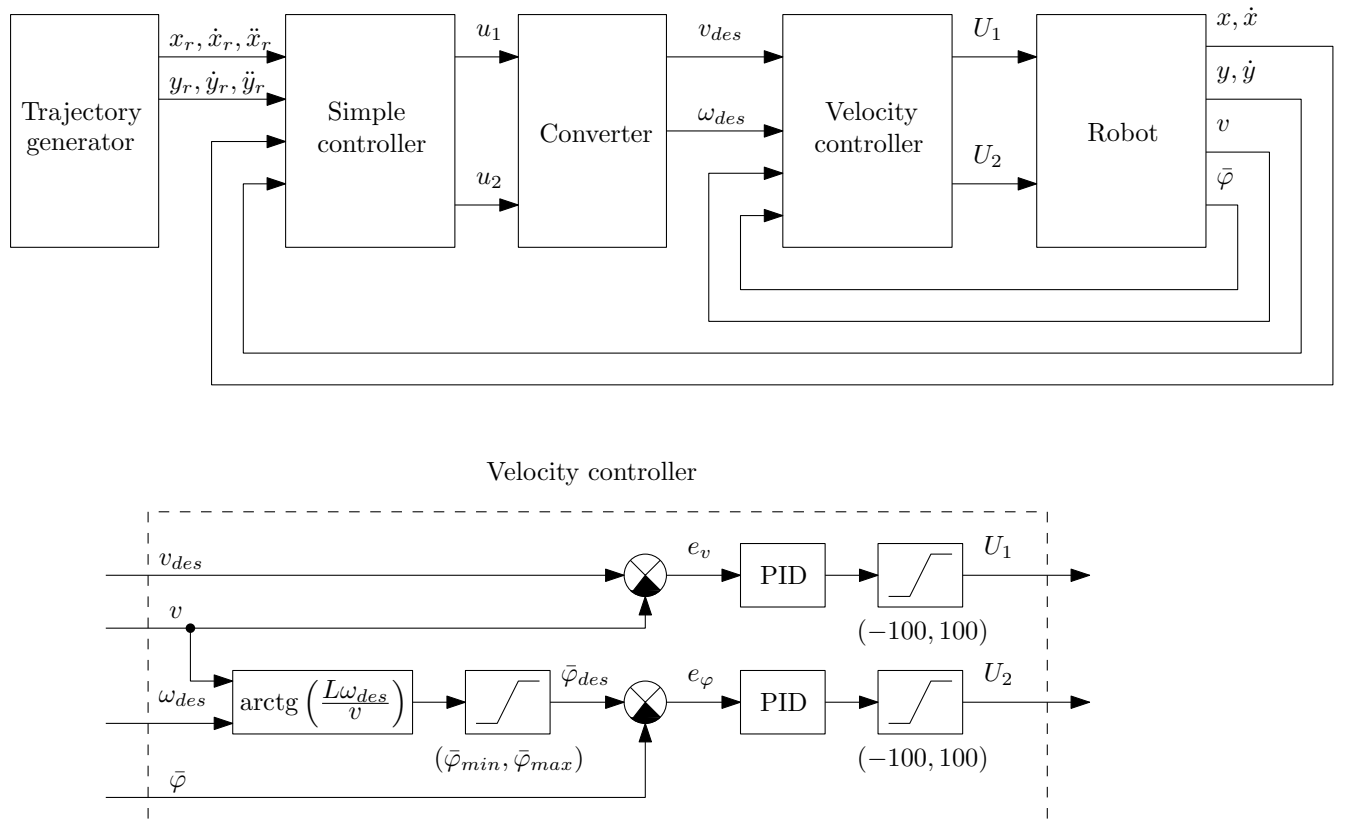


Рисунок 7 – Структура системы управления движением робота.

Входящие в блок Velocity Controller ПИД-регуляторы были настроены вручную. Качество их работы можно оценить из переходных функций, показанных на рисунках 8 и 9.

Качество управления угловой скоростью по прямой связи, включающей в себя функцию $\arctg()$, можно оценить из рисунка 10.

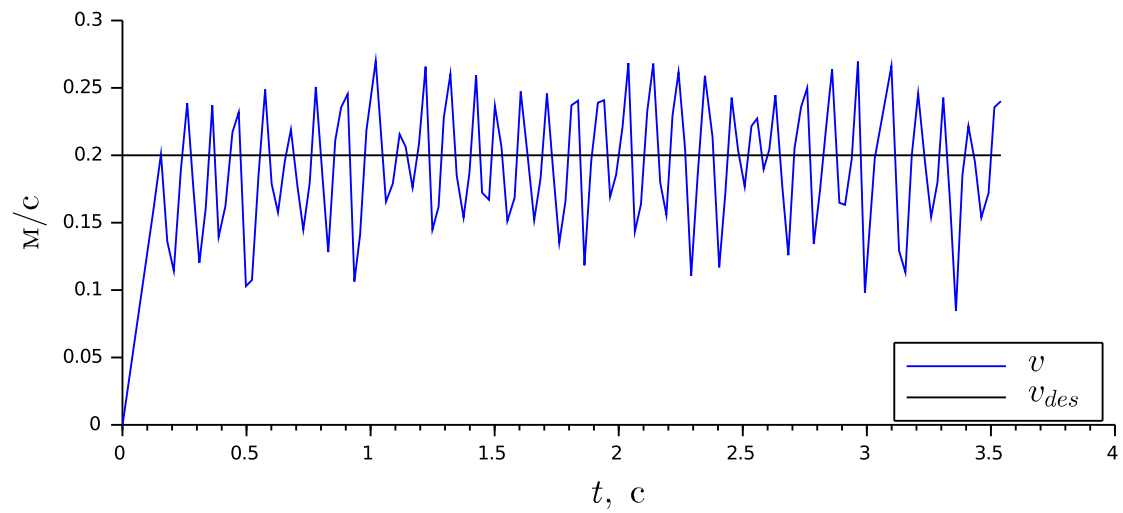
Формирование желаемых значений для линейной и угловой скоростей робота блоком Converter, а также расчет «предварительных» управляющих воздействий в блоке Simple Controller производятся в соответствии со следующими выражениями [3]:

$$\begin{cases} \dot{\xi} = u_1 \cos \theta + u_2 \sin \theta, \\ v_{des} = \xi, \\ \omega_{des} = \frac{-u_1 \sin \theta + u_2 \cos \theta}{\bar{\xi}}, \end{cases} \quad \bar{\xi} = \begin{cases} -0.01, & 0 > \xi \geq -0.01 \\ 0.01, & 0 \leq \xi \leq 0.01 \\ \xi, & \text{иначе} \end{cases} \quad (7)$$

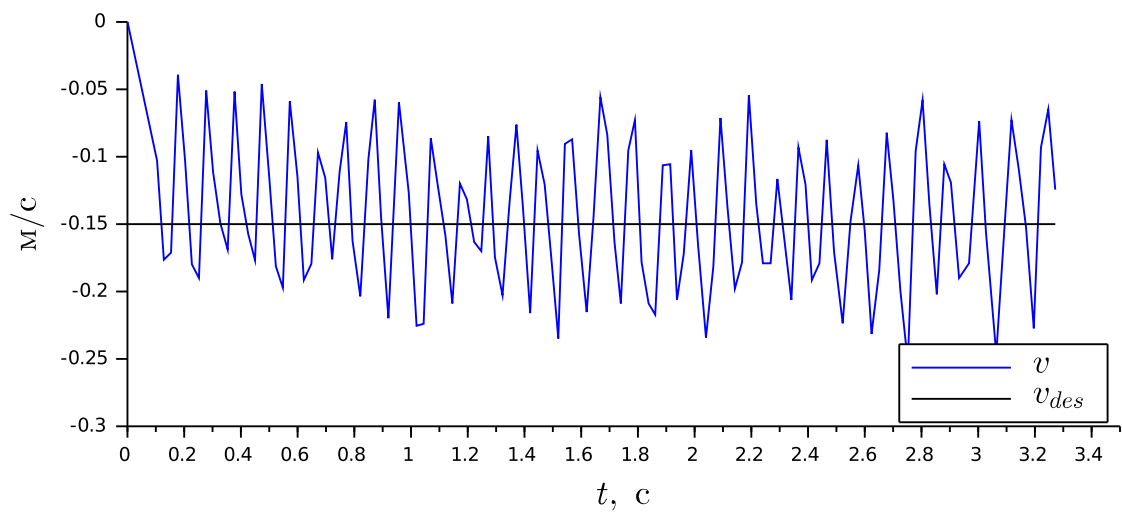
$$\begin{cases} u_1 = \ddot{x}_r + k_{p1}(x_r - x) + k_{d1}(\dot{x}_r - \dot{x}), \\ u_2 = \ddot{y}_r + k_{p2}(y_r - y) + k_{d2}(\dot{y}_r - \dot{y}). \end{cases} \quad (8)$$

Результаты запуска схемы моделирования, показанной на рисунке 11*, свидетельствуют о надлежащем функционировании этой системы управления (см. рисунок 12). В условиях же реальных экспериментов она показала себя неработоспособной (см. рисунок 13).

* В данной схеме в качестве модели робота-машинки использована модель (1). Другими словами, блок Velocity Controller опущен «за ненадобностью», и $v_{des} = v$, $\omega_{des} = \omega$.

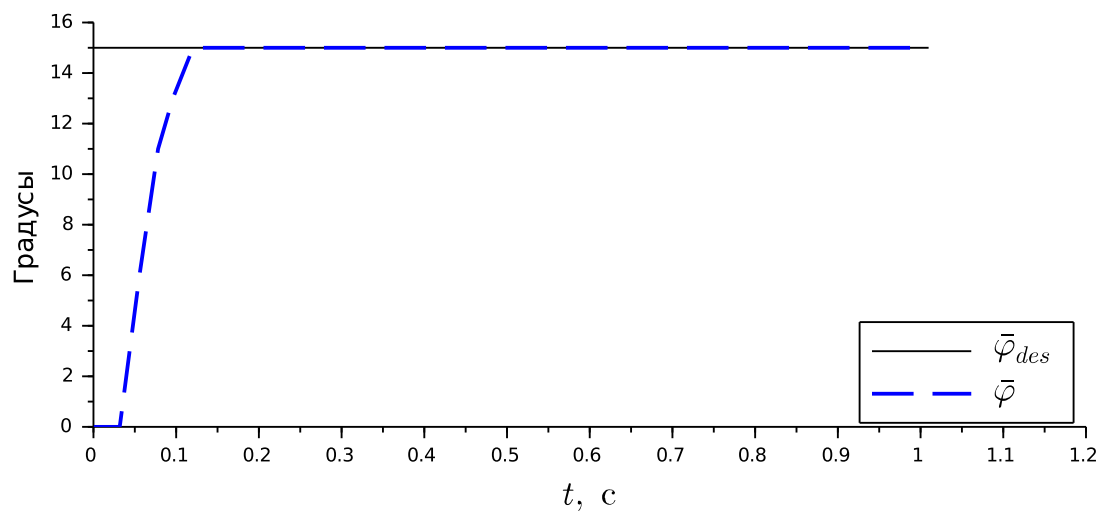


а)

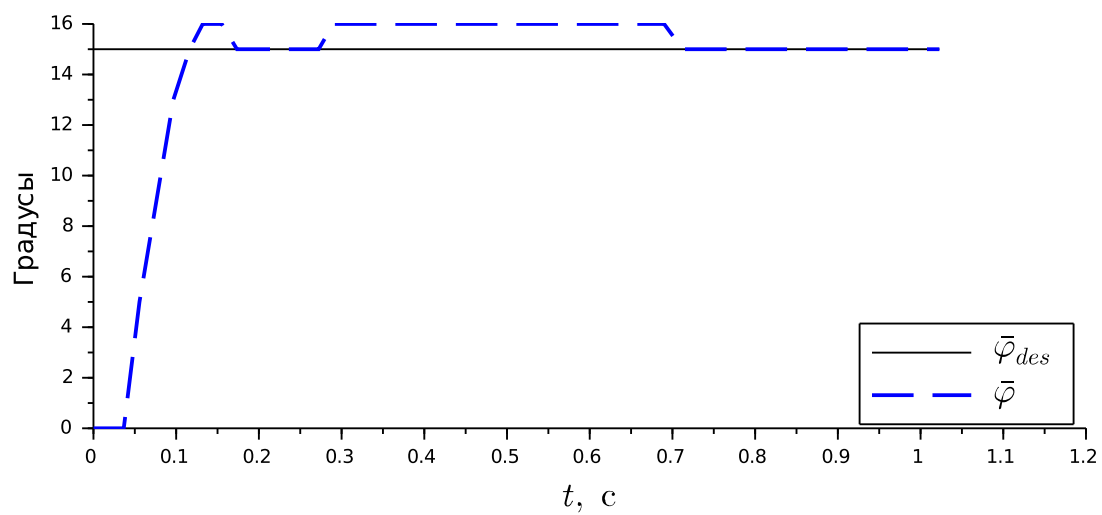


б)

Рисунок 8 – Переходные функции ПИД-регулятора, управляющего значением скорости v :
а — при $v_{des} > 0$, б — при $v_{des} < 0$.

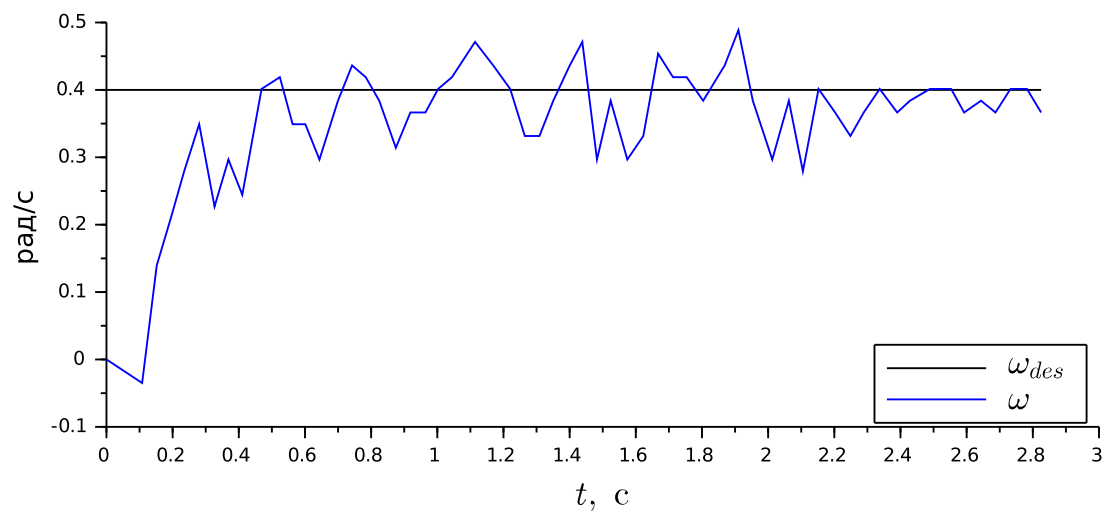


а)

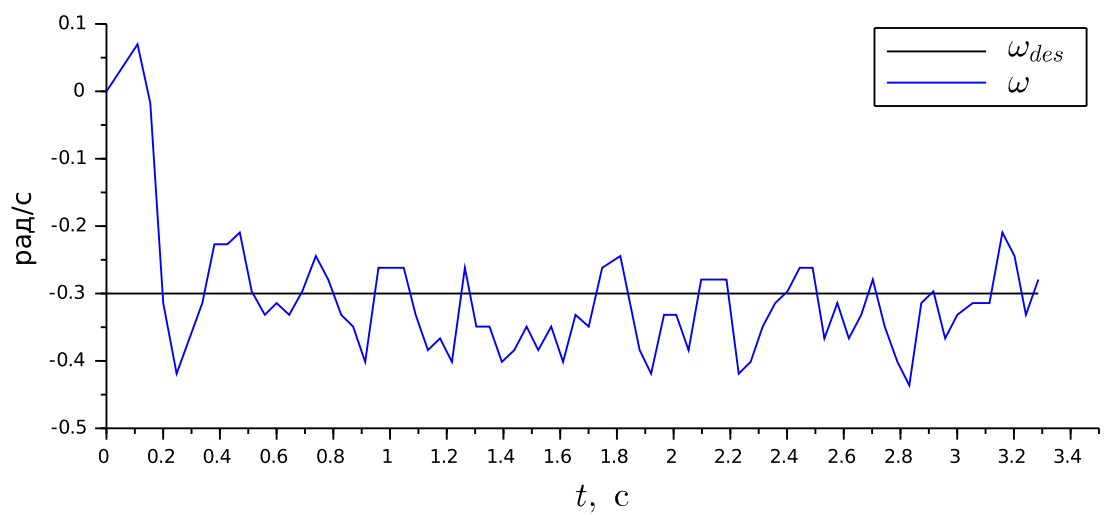


б)

Рисунок 9 – Переходные функции ПИД-регулятора, управляющего значением угла $\bar{\varphi}$:
а — при $v = 0$, б — при $v \neq 0$.



а)



б)

Рисунок 10 – Переходные функции системы управления угловой скоростью.

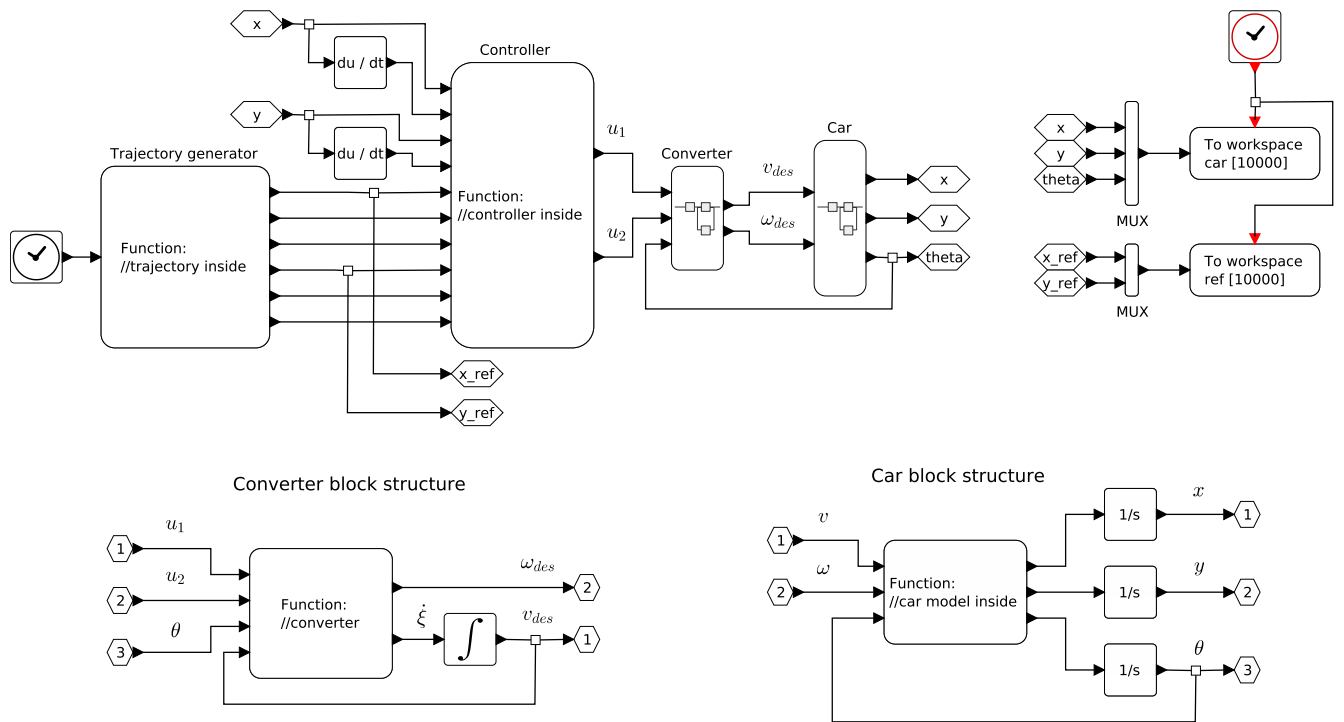


Рисунок 11 – Схема моделирования системы управления движением робота.

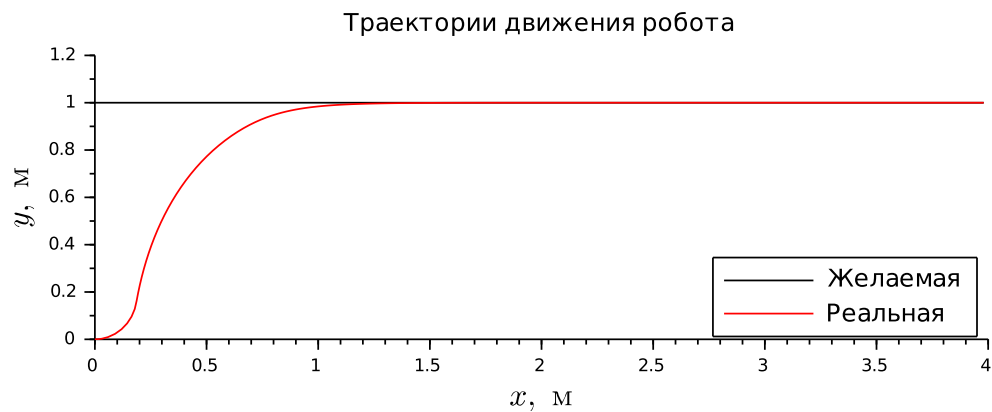


Рисунок 12 – Результаты запуска схемы моделирования.

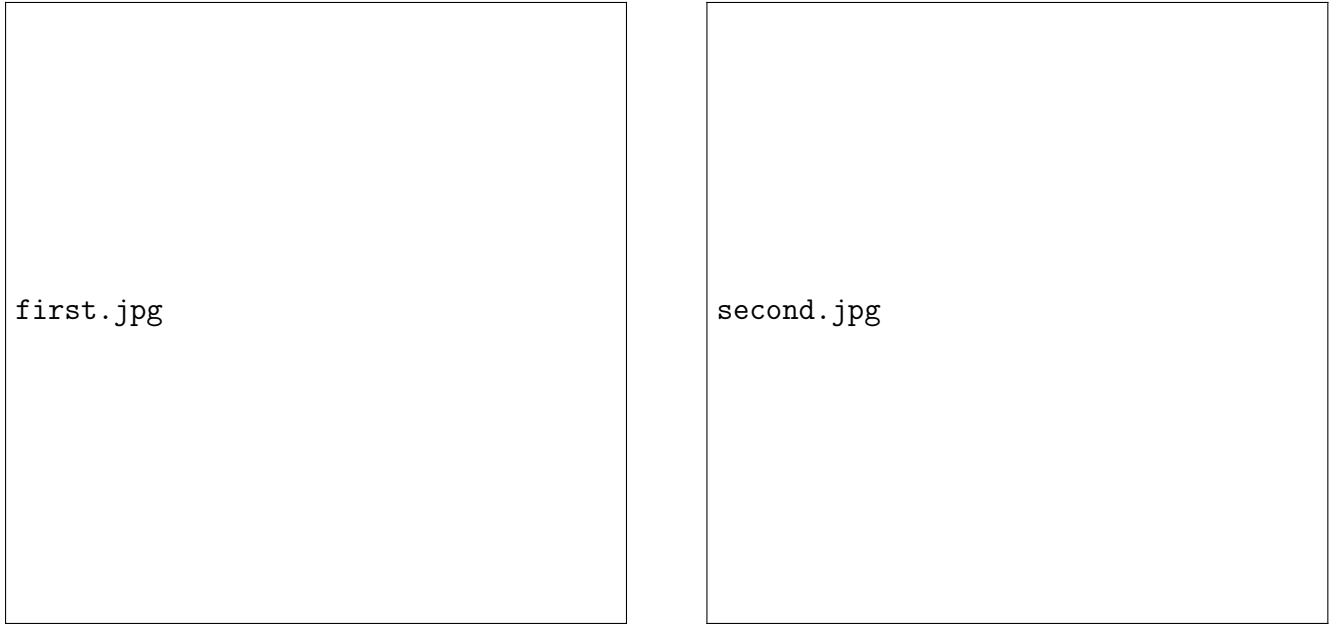


Рисунок 13 – Результат одного из экспериментов, проверяющего работоспособность системы управления движением.

3 Поиск парковочного места

В этой работе рассматривается правостороннее движение, поэтому парковка производится с правой стороны дороги.

Поиск парковочного места осуществляется по тому же принципу, что и в реальной жизни: робот-машинка движется параллельно припаркованному ряду автомобилей с постоянной скоростью v , одновременно сканируя пространство справа от себя. Сканирование олицетворяет собой измерение расстояния между роботом и объектами справа от него. Измерения производятся двумя ультразвуковыми датчиками (S_{front} и S_{rear}), расположение которых на роботе изображено на рисунке 14.



а) вид сверху

б) вид справа (по ходу движения)

Рисунок 14 – Расположение ультразвуковых датчиков.

Измерения показаний ультразвуковых датчиков представляется в локальной СК робота в точках (p_1 и p_2) (9). После чего преобразуются в глобальную СК путем перемножения матрицы однородных преобразования H и соответствующей измеренной точки (??)–(??)

$$p_1 = \begin{bmatrix} x_{p_1} \\ y_{p_1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L \\ -(S_{front} + d) \end{bmatrix}; \quad p_2 = \begin{bmatrix} x_{p_2} \\ y_{p_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -l \\ -(S_{rear} + d) \end{bmatrix}. \quad (9)$$

где L — база робота-машинки; l — расстояние между задней осью и ультразвуковым датчиком, закрепленным на задней части робота; d — расстояние от продольной оси робота до сенсоров датчиков.

$$H = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 & x \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$P = H * p = \begin{bmatrix} x_P \\ y_P \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 & x \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

В результате описанного выше сканирования строится карта, на которую наносятся проекции препятствий на плоскость дорожного полотна. На рисунке 15 показан пример такой карты.



Рисунок 15 – Пример карты.

4 Планирование траекторий движения

Для выполнения парковочного маневра система строит траекторию, показанную на рисунке 16. Координаты зеленых точек на нем становятся известными после выполнения этапа картирования, остальных — рассчитываются после с учетом ширины робота H , параметров δ_1 и δ_2 , задаваемых системе перед началом ее работы вручную, половины от минимального радиуса дуги, по которой может пройти робот, R и некоторых математических соотношений. Из последних стоит отметить лишь уравнения, совместное решение которых дает координаты (x_5, y_5) — координаты точки касания нижней из дуг и прямой, на которой лежит отрезок, ограниченный точками с координатами (x_3, y_3) и (x_5, y_5) :

$$\begin{cases} (x_7 - x_5)^2 + (y_7 - y_5)^2 = R^2, \\ \frac{y_4 - y_5}{x_4 - x_5} \cdot \frac{y_5 - y_7}{x_5 - x_7} = -1. \end{cases} \quad (12)$$

Задача же определение координат остальных точек авторам представляется тривиальной.

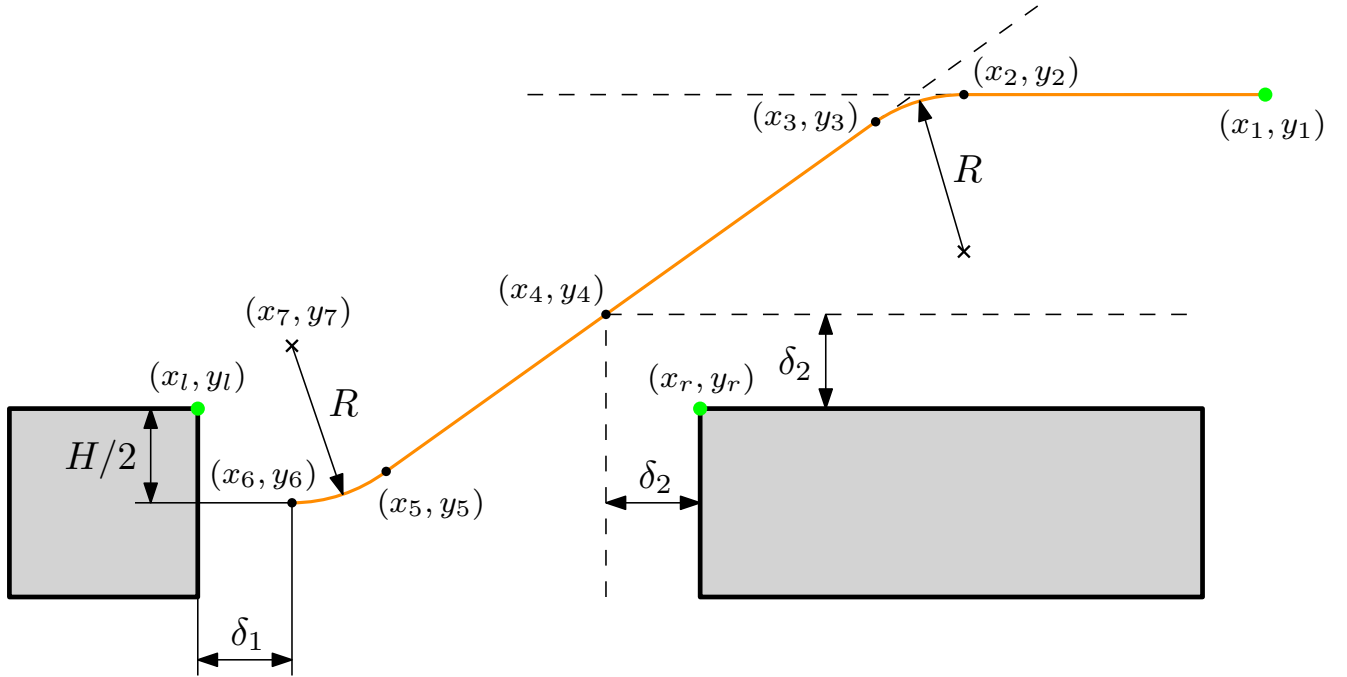


Рисунок 16 – Пояснения к принципам планирования траектории парковочного маневра.

Пример траектории, спланированной благодаря созданному авторами ПО, можно видеть на рисунке 17.

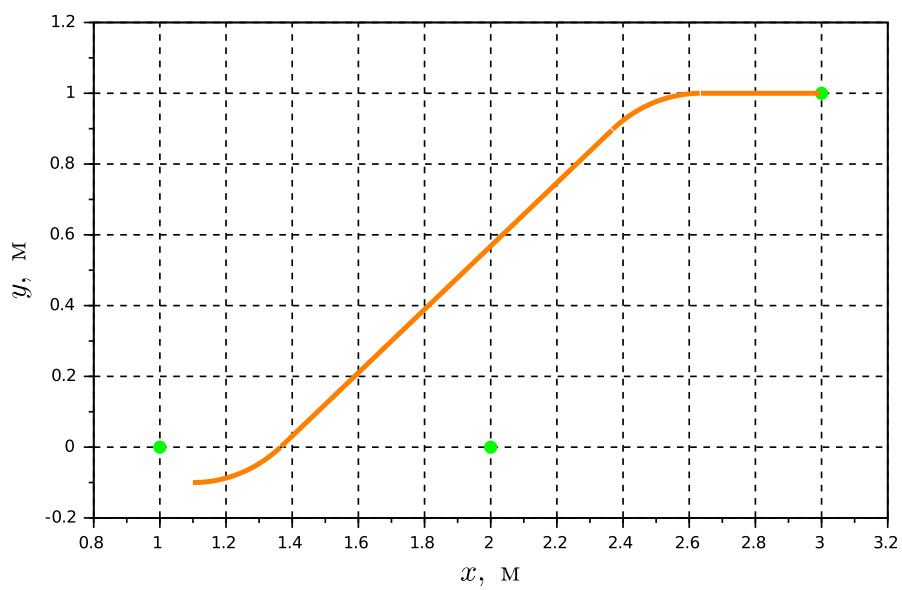


Рисунок 17 – Пример спланированной траектории движения.

Заключение

Текст

Список использованных источников

1. A Survey of Motion Planning and Control Techniques for Self-Driving Urban Vehicles / B. Paden, M. Čáp, S. Z. Yong et al. // IEEE Transactions on Intelligent Vehicles. — 2016. — March. — Vol. 1, no. 1. — P. 33–55.
2. Ackerman Steering. — URL: <http://datagenetics.com/blog/december12016/index.html> (дата обращения: 25.11.2017).
3. Luca Alessandro De, Oriolo Giuseppe, Vendittelli Marilena. Stabilization of the Unicycle Via Dynamic Feedback Linearization // IFAC Proceedings Volumes. — 2000. — Vol. 33, no. 27. — P. 687 – 692. — 6th IFAC Symposium on Robot Control (SYROCO 2000), Vienna, Austria, 21-23 September 2000. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667017380114>.

Приложение А

(обязательное)

Описание экспериментов по проверке состоятельности использованных методов локализации робота с помощью сторонней системы технического зрения

Текст