

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»

Политехнический институт
Кафедра «Робототехника и автоматизация производства»

Утверждено на заседании кафедры
«Робототехника и автоматизация
производства»
«14» января 2021 г., протокол №6

Заведующий кафедрой

 Е.В. Ларкин

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по выполнению лабораторных работ
по дисциплине (модулю)
«Мобильные роботы»

основной профессиональной образовательной программы
высшего образования – программы бакалавриата

по направлению подготовки
09.03.02 Информационные системы и технологии

с направленностью (профилем)
Информационные системы и технологии в робототехнике

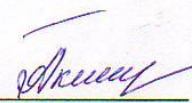
Форма обучения: очная

Идентификационный номер образовательной программы: 090302-02-21

Тула 2021 год

Разработчик методических указаний

Акименко Татьяна Алексеевна доцент, канд. техн. наук, доцент
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)


(подпись)

Содержание

Лабораторная работа №1. **Прямолинейное движение**

Лабораторная работа №2. **Неравномерное движение**

Лабораторная работа № 3. **Математическая модель колёсного робота в Simulink**

Лабораторная работа № 4. **Математическое моделирование движения колёсного робота в Simulink по сложной траектории**

Лабораторная работа №5. **Математическое моделирование движения двух колёсных роботов в Simulink**

Лабораторная работа №6. **Система управления мобильного робота**

Лабораторная работа №1

Прямолинейное движение

Цель:

Разработка программы равномерного и равноускоренного прямолинейного движения робота.

Теоретический раздел

Равномерное прямолинейное движение — простейший вид механического движения, при котором материальная точка за любые равные промежутки времени совершает одинаковые перемещения. Это движение с постоянной по модулю и направлению скоростью. При равномерном движении скорость показывает, какой путь прошло тело в единицу времени.

Обозначается скорость буквой V , время движения буквой t . Таким образом, скорость тела при равномерном движении — это величина, равная отношению пути ко времени, за которое этот путь пройден:

$$S = V * t$$

В системе «СИ» за основную единицу скорости принят м/с (метр в секунду): $[V] = [м/с]$. Скорость равномерного движения, равная 1 м/с, показывает, что тело за 1 с проходит путь длиной в 1 м. $[V] = [м/с]$ — это производная единица, ее получают согласно формуле скорости, подставляя вместо физических величин, входящих в формулу, единицы их измерения.

Таким образом, для решения задачи программирования равномерного движения робота принимаем:

$$v = \text{const} ;$$

$$a = 0 ;$$

v — скорость; м/с ;

s — перемещение, м;

t — время, с.

Координата вычисляются через кинематическое уравнение равномерного прямолинейного движения по формуле: $x = x_0 + v_x t$. (рис.1.1)

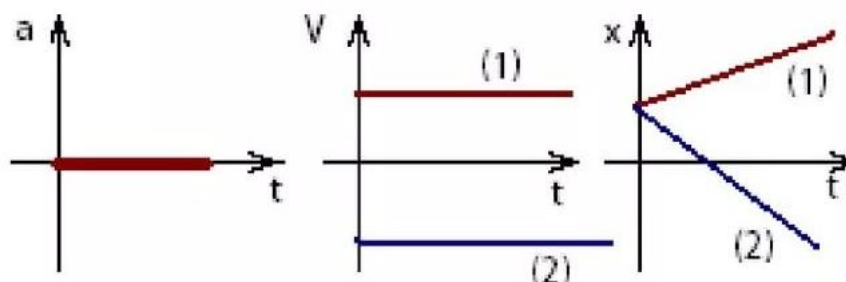


Рис. 1. Равномерное движение: (1) - тело движется в сторону выбранной оси;
(2) - тело движется в противоположную сторону

Равноускоренное движение - движение тела, при котором его ускорение постоянно по модулю и направлению. Траектория имеет вид участка параболы или прямой.

Формула скорости при равноускоренном движении:

$$v = v_0 + at,$$

где v_0 – начальная скорость, м/с; a – ускорение, м/с², $a = \text{const}$.

Формула для нахождения перемещения при равноускоренном движении:

$$\vec{s} = \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a} t^2}{2} \quad \text{или} \quad s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}$$

Формула для определения ускорения при равноускоренном прямолинейном движении:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}$$



Рис. 2. Перемещение, скорость и ускорение при равноускоренном прямолинейном движении

Задание

1. Составить блок-схему алгоритма.
2. Разработать программу равномерного и равноускоренного движения робота.
3. Провести тестирование программы и получить результаты расчета.

Лабораторная работа №2

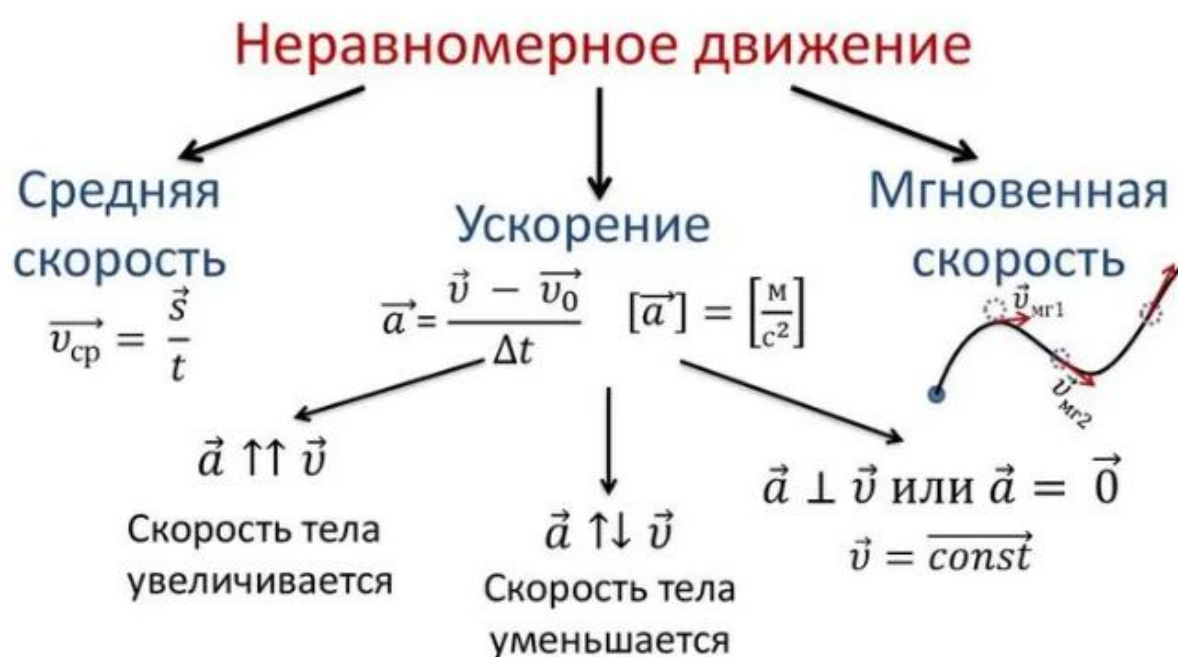
Неравномерное движение

Цель:

Разработка программы неравномерного движения робота.

Теоретический раздел

Неравномерное движение – скорость движущегося тела с течением времени меняется. При разработке программы скорость меняется от условий, задаваемых оператором.



Задание

1. Составить блоксхему алгоритма.
2. Разработать программу неравномерного движения робота.
3. Провести тестирование программы и получить результаты расчета

Лабораторная работа № 3

Математическая модель колёсного робота в Simulink

Цель:

Смоделировать движение колесного робота в Simulink.

1. Теоретическая часть

Колесный робот имеет два колеса с двигателями, гироскоп и пару ультразвуковых датчиков. Для оценки пройденного расстояния используются энкодеры на валу двигателя, для ориентации робота, измеряется гироскопом его угловая скорость и рассчитывается угол поворота, а расстояние до препятствий измеряется ультразвуковыми датчиками. (рис. 1)

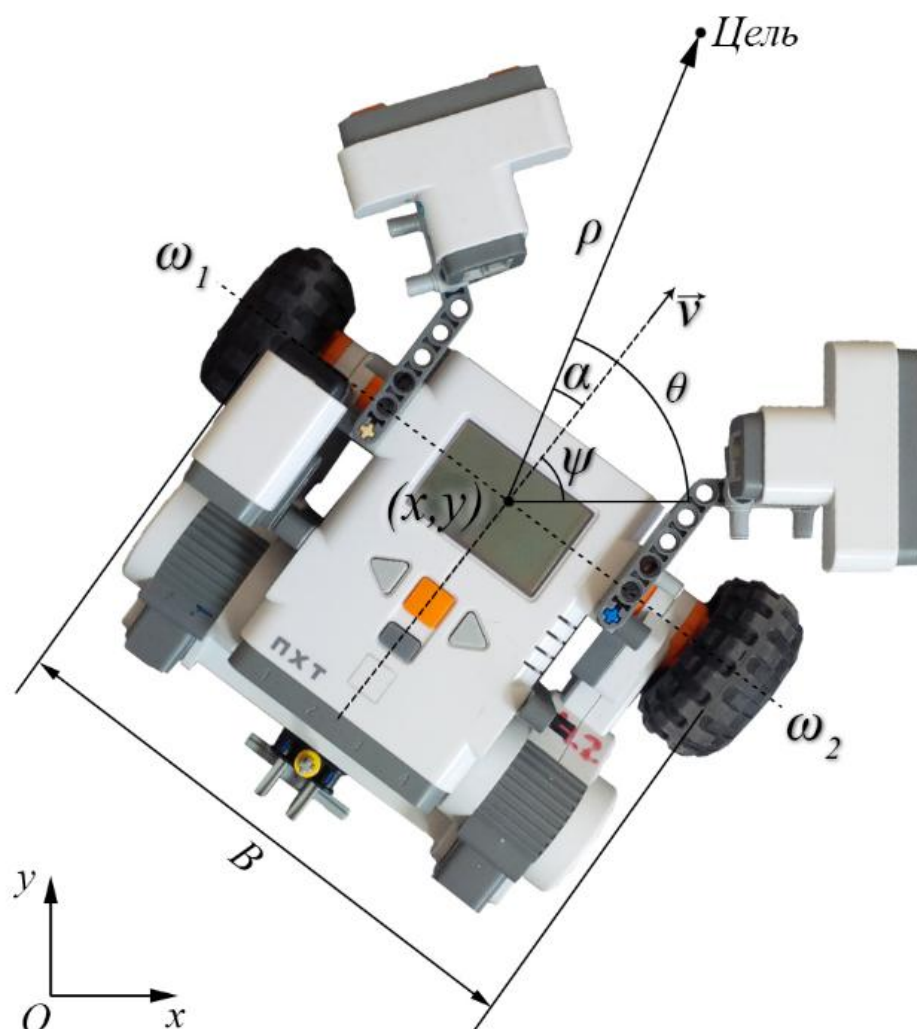


Рис. 1. Положение робота в пространстве:

ρ - расстояние до целевой точки; θ - азимут, угол между осью Ox и направлением на цель; ψ - курс робота; α - курсовой угол, разность между курсом и азимутом; v - линейная скорость робота.

Робот перемещается за счет движения двух отдельно управляемых колес. Такая кинематическая схема имеет определенное математическое описание:

$$\begin{cases} \dot{x} = \cos \psi \cdot \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} R \\ \dot{y} = \sin \psi \cdot \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} R, \\ \dot{\psi} = (\omega_1 + \omega_2) \frac{R}{B} \end{cases}$$

где ω_1, ω_2 - соответствующие угловые скорости вращения колес; x, y - соответствующие координаты; R - радиус колеса; B - расстояние между колесами.

Движение робота в точку с заданными координатами можно решить использованием П-регулятора. (рис. 2)

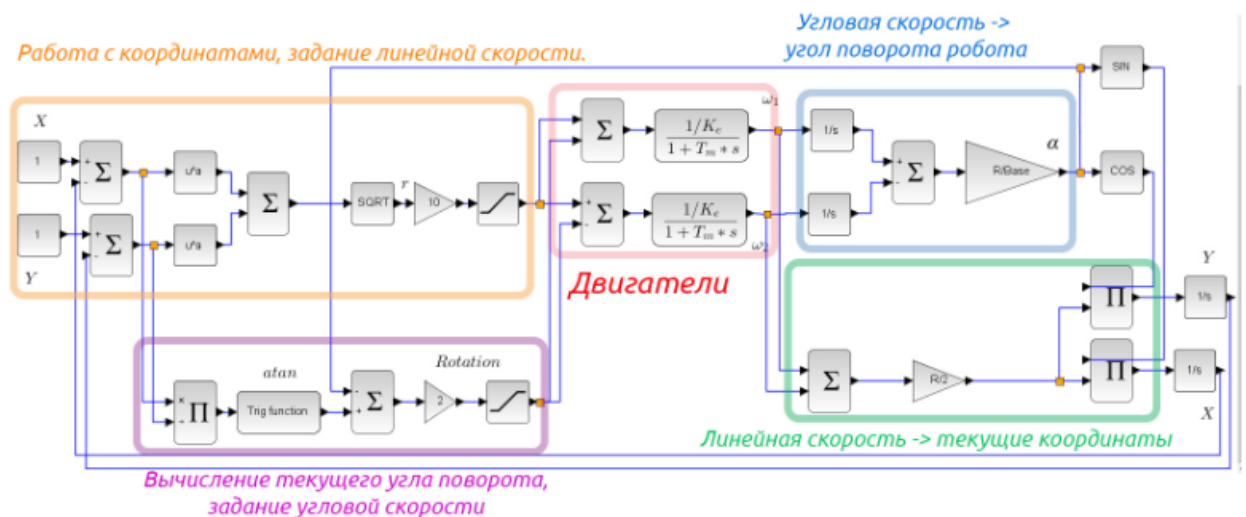


Рис. 2. Движение робота к точке с заданными координатами

В данной задаче робот должен достигнуть заданных координат ($\rho \rightarrow 0, \alpha \rightarrow 0$).

При решении задач навигации мобильных роботов используются для основных подходов:

- Глобальный - определение абсолютных координат устройства при движении по данным маршрутам. Траектория выбирается еще до начала движения на основе полученной информации.
- Локальный - определение координат устройства по отношению к некоторой (обычно стартовой) точке. Планирование задает лишь небольшой отрезок траектории, в конечной точке которого выбирается дальнейшая траектория.

Математическая модель, описывающая навигацию робота к цели в полярных координатах имеет вид:

$$\begin{cases} \dot{\rho} = -v \cos \alpha \\ \dot{\alpha} = -\omega + v \frac{\sin \alpha}{\rho} \\ \dot{\theta} = -v \frac{\sin \alpha}{\rho} \end{cases}$$

Робот может управляться с помощью значений угловой и линейной скорости (v, ω) , поэтому необходимо найти такие их значения, чтобы выполнялось условие поставленной задачи $(\rho \rightarrow 0, \alpha \rightarrow 0)$, для этого воспользуемся аппаратом функции Ляпунова. Это квадратичная функция, включающая в себя расстояние до цели и курсовой угол:

$$V(\rho, \alpha) = \frac{1}{2} \rho^2 + \frac{1}{2} \alpha^2$$

Производная по времени должна быть не положительна для того, чтобы расстояние до цели и курсовой угол не возрастали:

$$\dot{V}(\rho, \alpha) = \rho \dot{\rho} + \alpha \dot{\alpha}$$

Выразив производную через математическую модель, получаем:

$$\dot{V}(\rho, \alpha) = -\rho v \cos \alpha + \alpha \left(-\omega + v \frac{\sin \alpha}{\rho} \right).$$

Эта производная отрицательно определена, если выбрать в качестве управляющего воздействия следующие значения скоростей:

$$\begin{cases} v = v_{\max} \tanh \rho \cos \alpha, \\ \omega = k_{\omega} \alpha + v_{\max} \frac{\tanh \rho}{\rho} \sin \alpha \cos \alpha, k_{\omega} > 0. \end{cases}$$

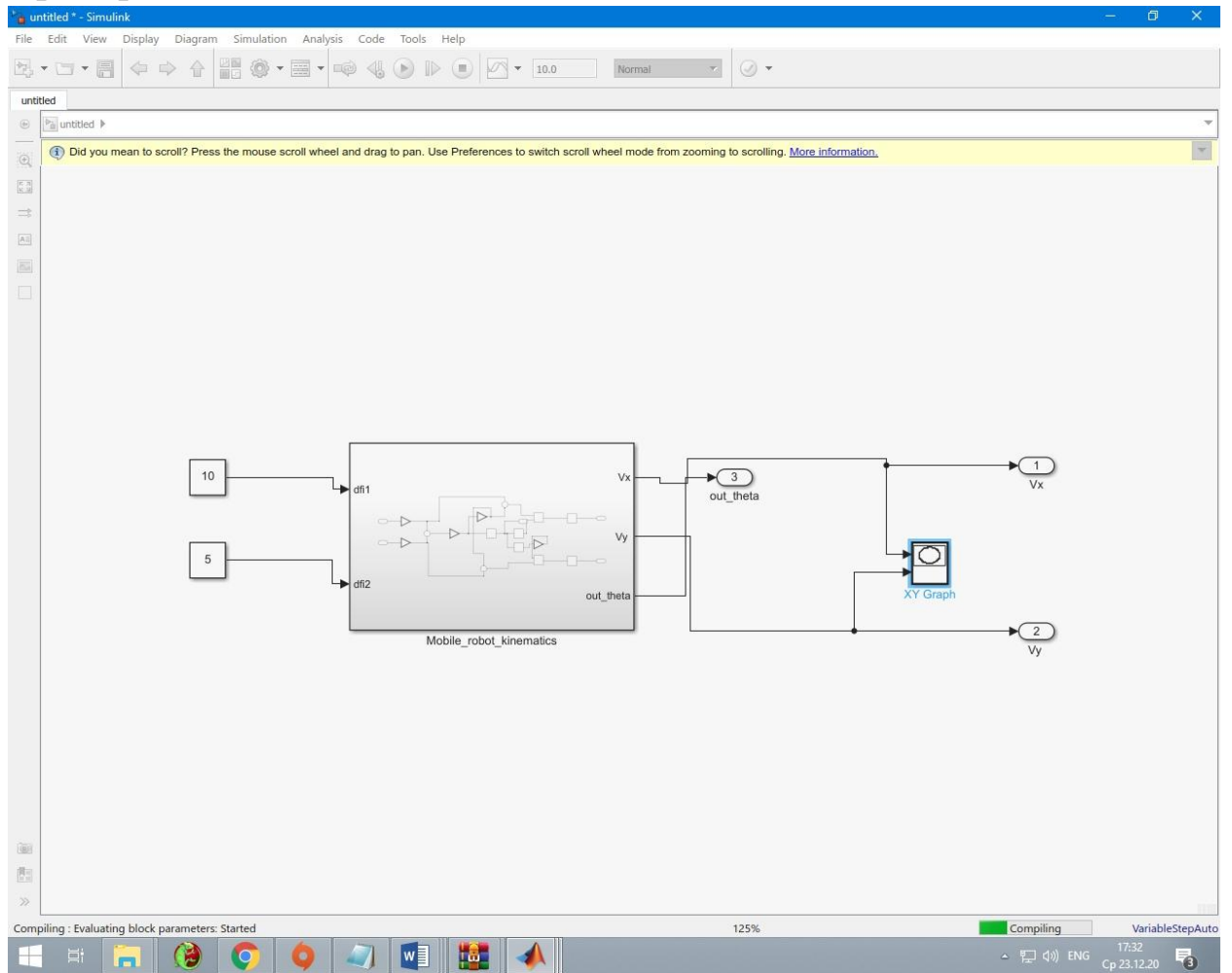
Данная математическая модель позволит роботу достичь своей цели в отсутствии препятствий. Для избегания препятствий необходимо внести поправку в вычислении курсового угла:

$$\begin{cases} \alpha = \theta - \psi - K_p (d_{\min} - d), & d_{\min} - d > 0 \\ \alpha = \theta - \psi, & d_{\min} - d \leq 0. \end{cases}$$

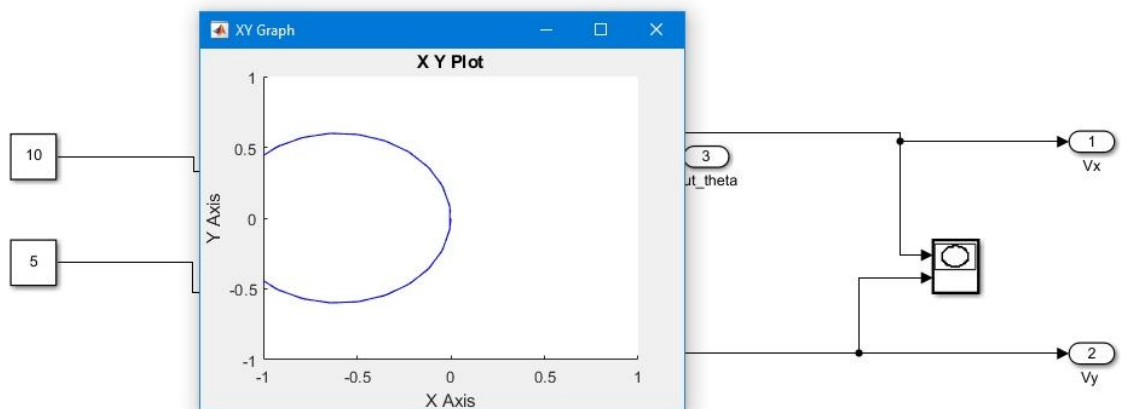
где K_p - коэффициент пропорциональной составляющей курсового угла; d - расстояние до препятствия; d_{\min} - минимальное расстояние до препятствия.

Таким образом, с помощью вышеизложенной математической модели можно реализовать движение робота из точки в точку и движение робота из точки в точку с объездом препятствий.

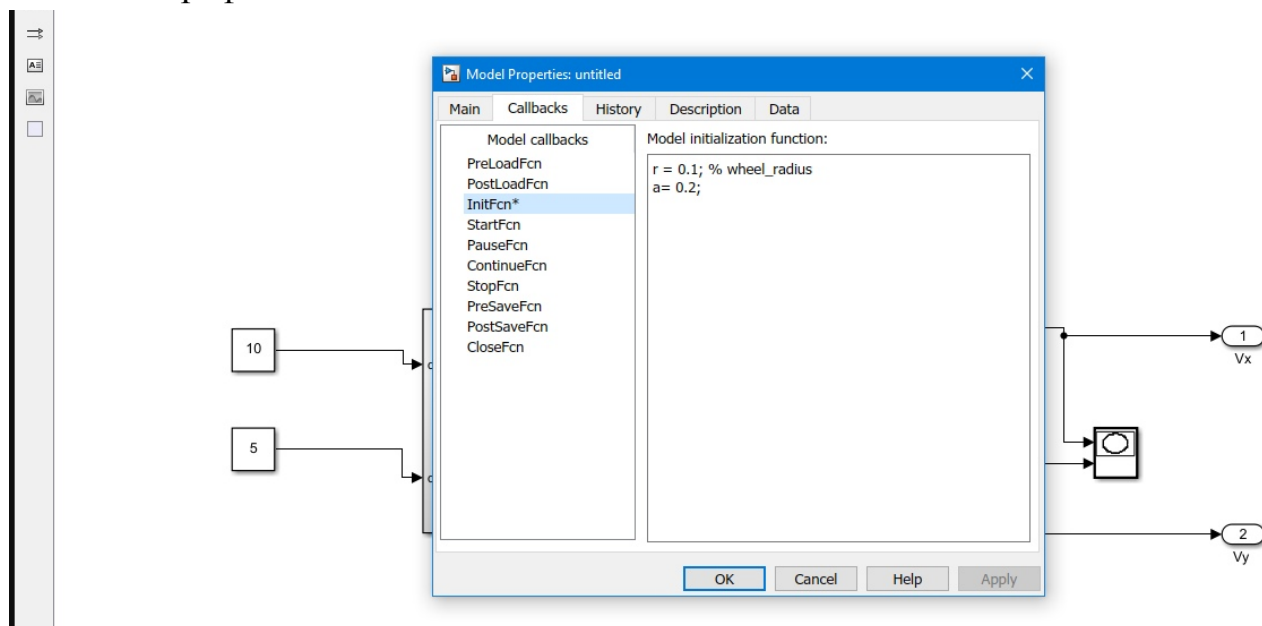
Пример:



График



Значения графика



Задание:

Смоделировать движение колесного робота в Simulink

Лабораторная работа № 4

Математическое моделирование движения колёсного робота в Simulink по сложной траектории

Цель:

Смоделировать движение колесного робота в Simulink по сложной траектории.

Задание:

На основе предыдущего занятия разработать схему движения колесного робота по сложной траектории.

Движение робота в точку с заданными координатами можно решить использованием П-регулятора. (рис. 1)

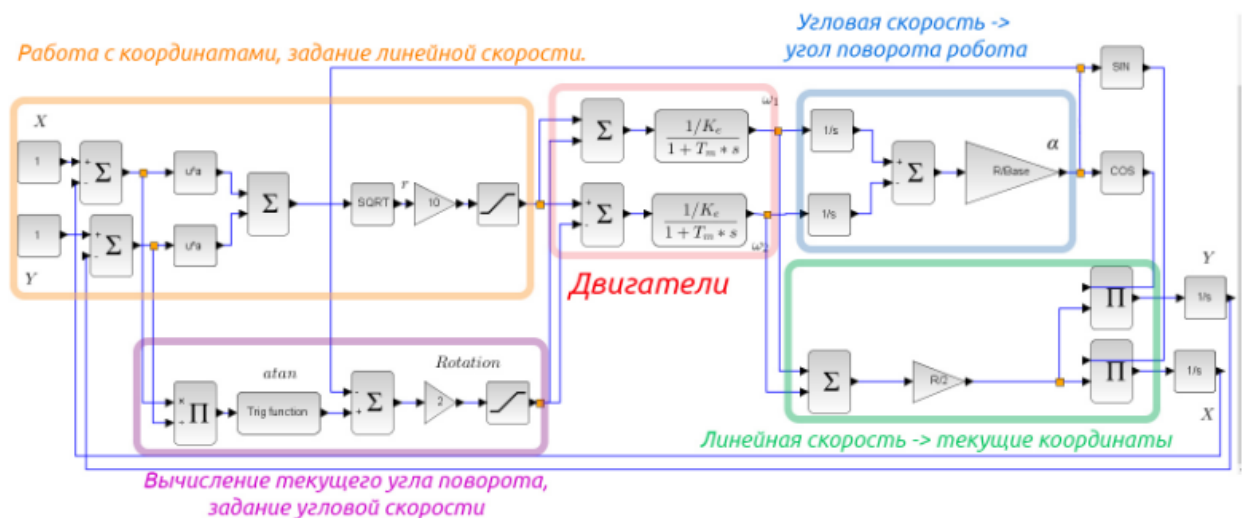


Рис. 1. Движение робота к точке с заданными координатами

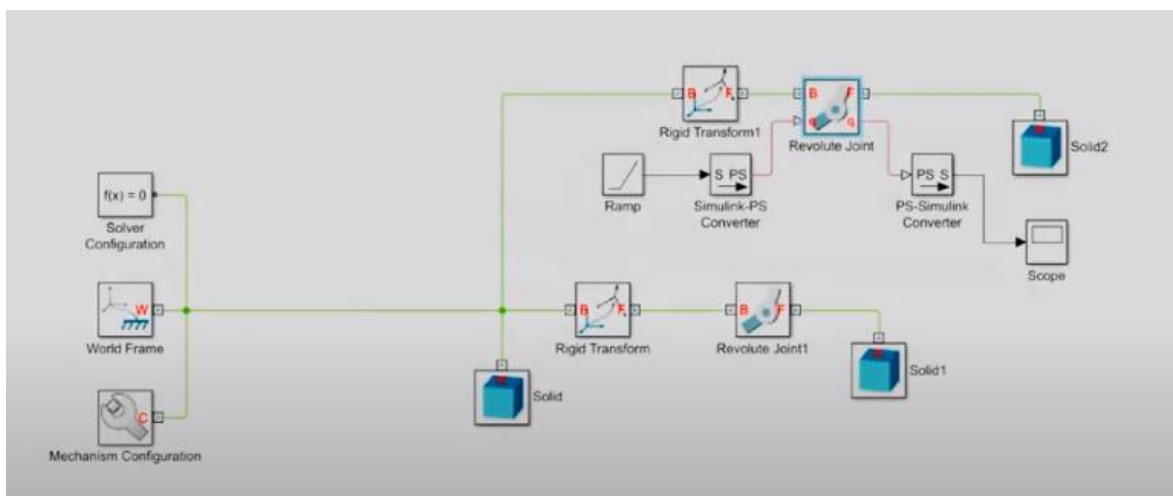


Рис. 2. Механическая модель колёсного робота в SimMechanics

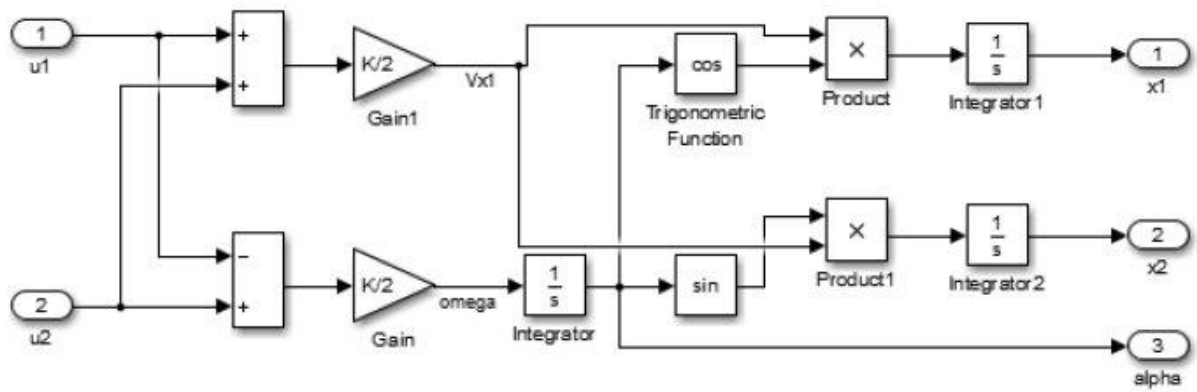


Рис. 3. Кинематическая модель робота-тележки в Simulink.

Задание:

Смоделировать движение колесного робота в Simulink по сложной траектории на базе модели робота-тележки (рис.3).

Лабораторная работа №5

Математическое моделирование движения двух колёсных роботов в Simulink

Цель:

Смоделировать движение двух колесных роботов в Simulink, которые едут навстречу друг другу. (4 часа)

Теоретический раздел

Движение робота в пространстве подробно было рассмотрено на лекциях.

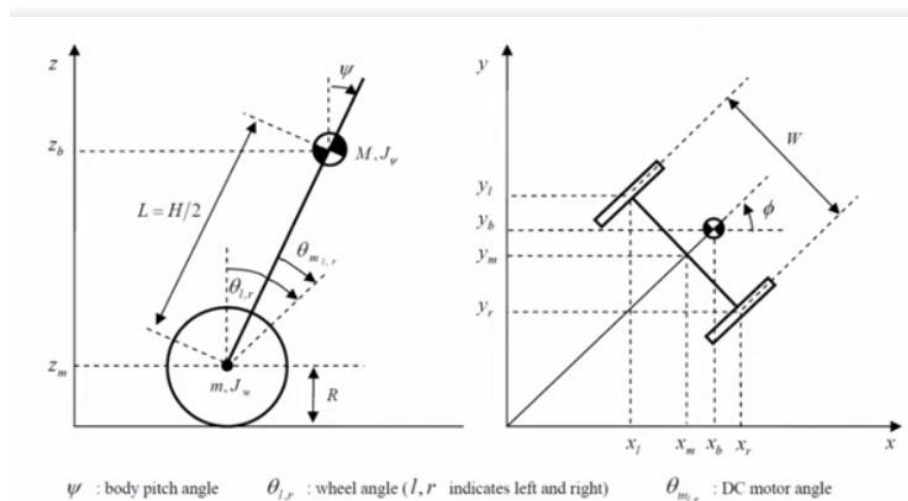


Рис. 1. Движение робота в пространстве

Математическая модель состоит из 3 уравнений, так как у нас три координаты.

Инерционные моменты	Внешние моменты
$\left[(2m + M)R^2 + 2J_w + 2n^2J_m \right] \ddot{\theta} + (MLR - 2n^2J_m) \ddot{\psi} = F_\theta$	$= F_\theta$
$(MLR - 2n^2J_m) \ddot{\theta} + (ML^2 + J_\psi + 2n^2J_m) \ddot{\psi} = F_\psi$	
$\left[\frac{1}{2}mW^2 + J_\phi + \frac{W^2}{2R^2}(J_w + n^2J_m) \right] \ddot{\phi} = F_\phi$	

Внешние моменты

Момент силы тяжести $F_g = M g L \theta$	Момент двигателя $F_m = \alpha v - \beta \dot{\theta}_m$ $\alpha = n \frac{K_t}{R_m}, \beta = n \frac{K_t K_b}{R_m} + f_m$	Трение о пол $F_w = -f_w \dot{\theta}$
---	--	---

$$F_\theta = F_{m_r} + F_{m_l} + F_{w_r} + F_{w_l}$$

$$F_\psi = -F_{m_l} - F_{m_r} + F_g$$

$$F_\phi = \frac{W}{2R} (F_{m_r} - F_{m_l} + F_{w_r} - F_{w_l})$$

Пространство состояний:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx + Du \end{aligned}$$

где A - матрица системы; B - матрица управления; C - матрица выхода; D - матрица прямой связи;

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \end{bmatrix} \text{ Вектор состояний}; \quad u = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \dots \\ u_n \end{bmatrix} \text{ Вектор управления}; \quad y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_n \end{bmatrix} \text{ Вектор выхода}.$$

Модель пространство состояний:

$$I\ddot{\phi} + J\dot{\phi} = K(v_r - v_l)$$

$$\begin{cases} \dot{\phi} = \dot{\phi} \\ \ddot{\phi} = -\frac{J}{I}\dot{\phi} + \frac{K}{I}(v_r - v_l) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = -\frac{J}{I}x_2 + \frac{K}{I}(u_2 - u_1) \\ y_1 = x_1 \\ y_2 = x_2 \end{cases}$$

Состояния
$x_1 = \phi$
$x_2 = \dot{\phi}$
Управление
$u_1 = v_l$
$u_2 = v_r$
Выход
$y_1 = \phi$
$y_2 = \dot{\phi}$

Задаем параметры

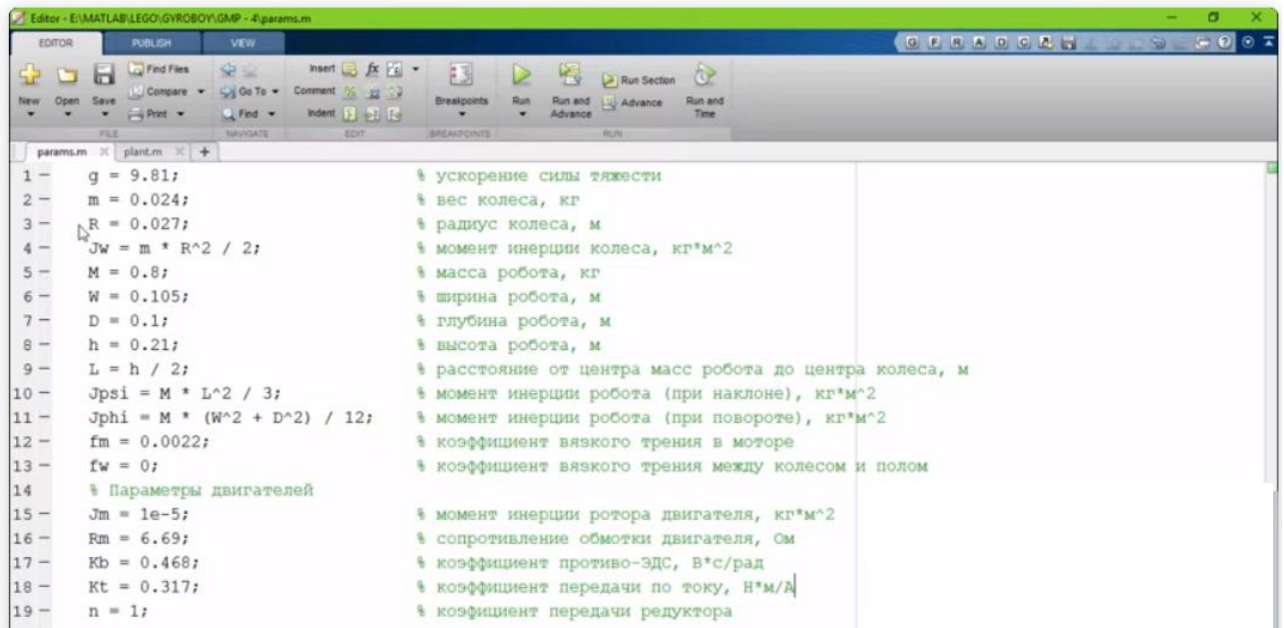


Рис. 2. Задание параметров

Движение робота в точку с заданными координатами можно решить использованием П-регулятора. (рис. 3)

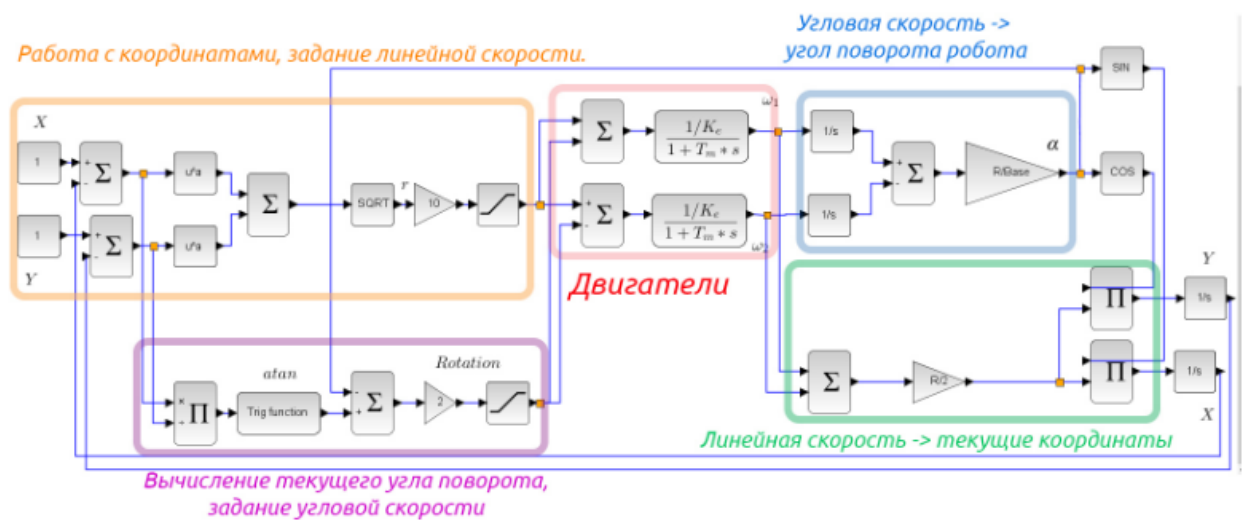


Рис. 3. Движение робота к точке с заданными координатами

Задание:

На основе предыдущего занятия разработать схему движения двух колесных роботов, которые едут навстречу друг другу.

Лабораторная работа №6

Система управления мобильного робота

Цель:

Разработать систему управления роботом. (4 часа)

Теоретический раздел

Время переходного процесса, за который достигается заданный результат отображено на рис. 1.

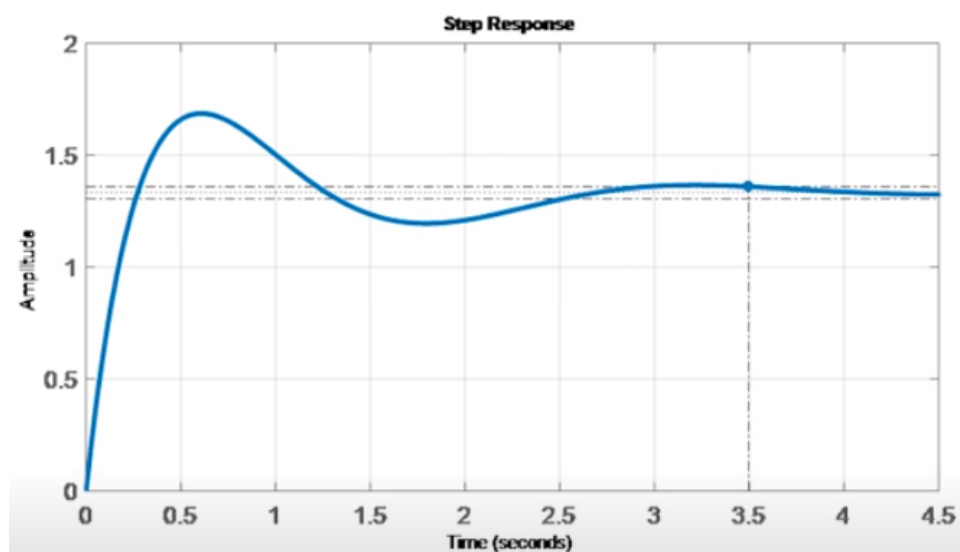


Рис. 1. Время переходного процесса

Пример:

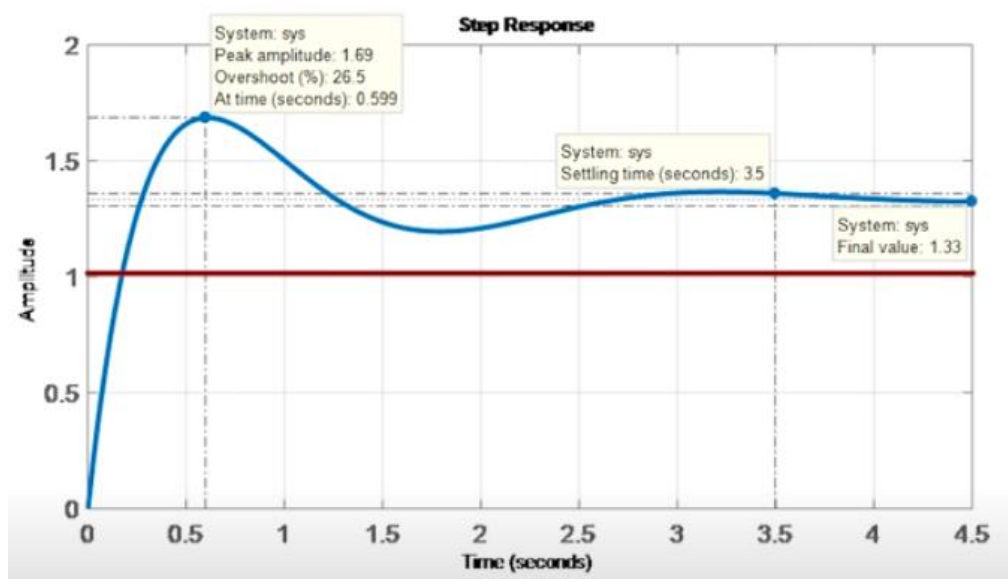


Рис. 2. Перемещение робота

Если робот отъехать на 1 метр (красная линия), то он перемещается за 3,5 с, при этом его заносит на 0,69 см в сторону и он ошибается и отъезжает на лишние 33 см. Таким образом, контроллер должен сделать систему устойчивой, но и обеспечить заданное качество регулирования.

Выбираем LQR (линейный квадратичный регулятор). (рис. 3)

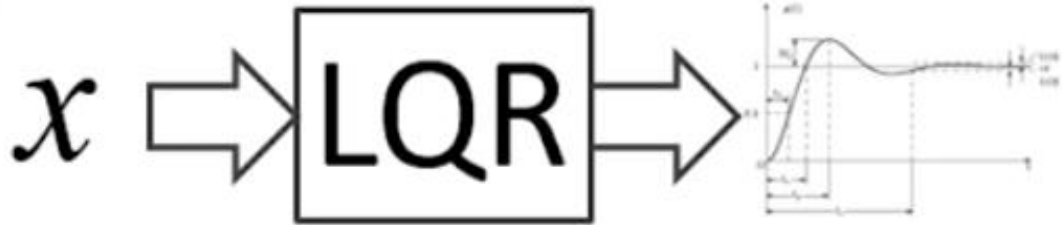
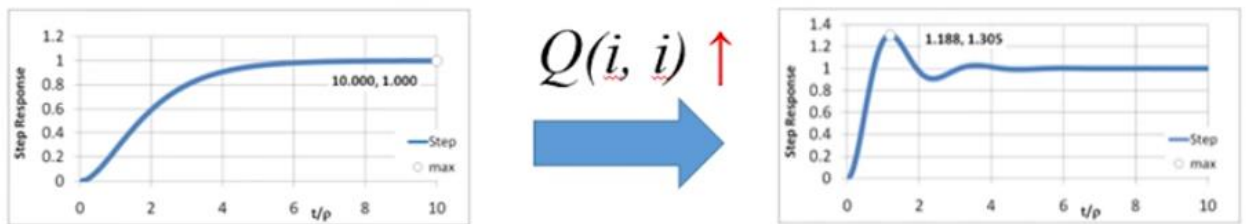


Рис. 3. Линейный квадратичный регулятор

$$J = \int_0^{\infty} (x^T Q x + u^T R u) dt$$

где x - вектор состояния системы; u - вектор управления системы; Q , R - диагональные матрицы весовых коэффициентов, позволяющие настроить качество системы.

Чем больше Q , тем быстрее система стремится привести к тому состоянию, которое было задано.



Коэффициентом матрицы R увеличивается, например, быстродействие двигателей.

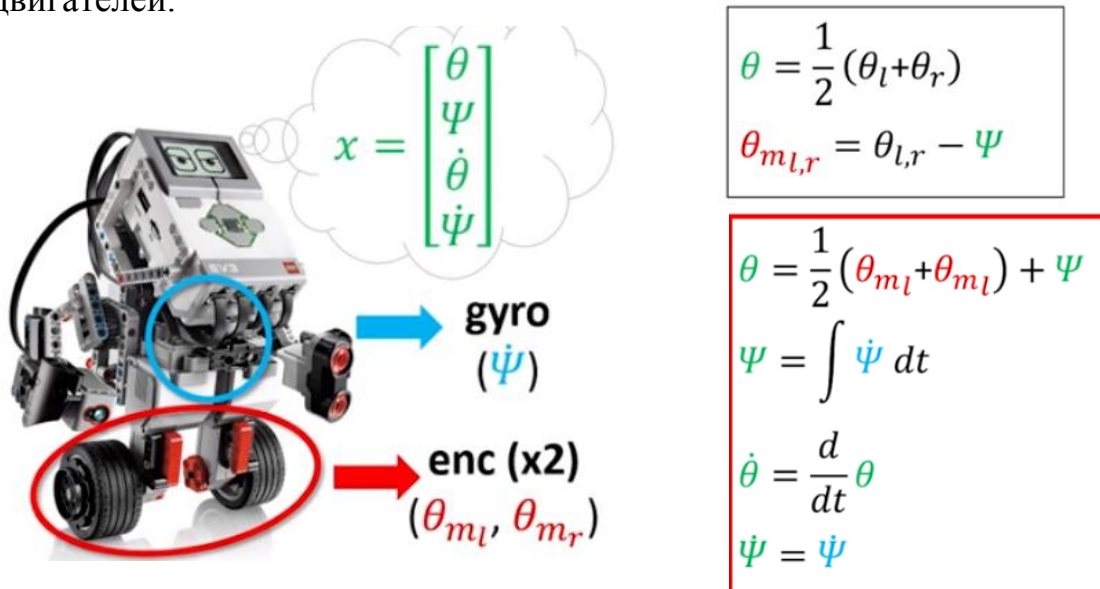


Рис. 4. Переменное состояние робота

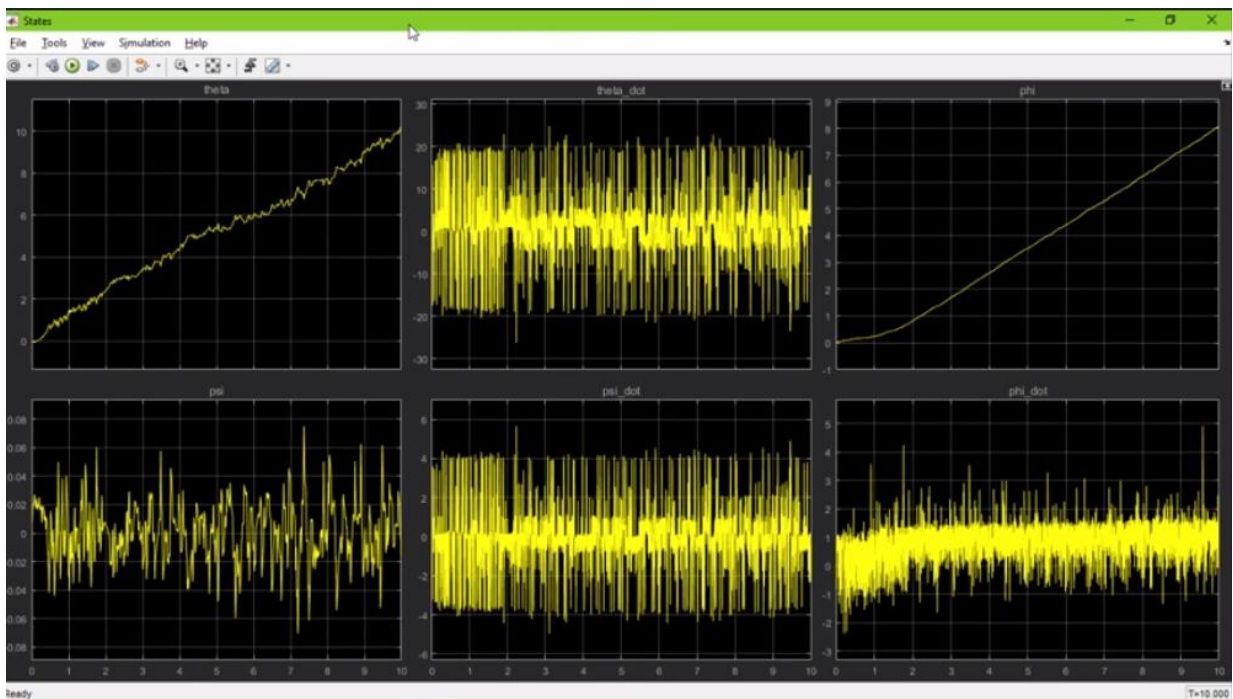


Рис. 5. Результаты управления движением робота

Движение робота в точку с заданными координатами можно решить

Задание:

На основе предыдущего занятия разработать систему управления.