

ФИЗИКА. МЕХАНИКА. ХИМИЯ

doi: 10.51639/2713-0576_2022_2_1_31

УДК 62-5, 65.011.56

ГРНТИ 29.19.13,50.03.03

ВАК 05.02.05

Динамическое моделирование и управление адаптивной тягой для мобильных роботов

Говорков Ю. А.

*Донской Государственный Технический Университет
344003, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина 1*email: * govorkov.yurij@yandex.ru

Мобильные роботы находят применение во многих сферах. Так, в области промышленности их основные задачи заключаются в перемещении предметов с места на место, в сборке деталей машин и т. д. Кроме того, робототехника применима в медицинских, общественных и бытовых целях. В последние годы исследования по мобильным роботам привлекли много внимания, поскольку они всё чаще используются в широком спектре областей применения. В начале большинство исследований были направлены на использование кинематических моделей мобильных роботов для осуществления контроля движения. Позднее исследование приняло другой подход и сосредоточилось на роботах с дополнительной сенсорной системой для разработки автономных систем планирования траектории. Это направление привело к появлению сложных сенсорных систем, которые могут изучать операционную среду и, следовательно, оценивать препятствия на пути к достижению самой цели планирования пути. Однако некоторые исследования также затрагивали вопросы, связанные с динамическими характеристиками движения, которые необходимы для отслеживания пути. Изучалась проблема вычисления подходящих траекторий в условиях изменения рельефа местности и в условиях дорожных ограничений. Проблемы дорожных манипуляций и тяги становятся очень важными, когда робот подвергается динамическим вариациям. Эти изменения включают в себя изменения инерции робота и центра тяжести, вызванные переменной нагрузкой. Изменения в рельефе местности, текстуре или свойствах колёс, вызванные износом, загрязнением или деформацией, играют важную роль в движении робота.

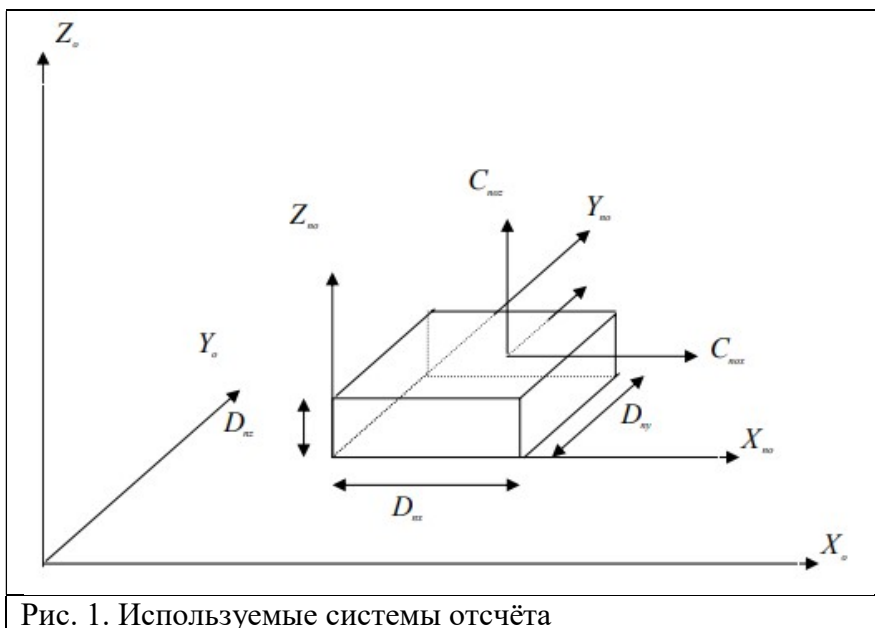
Ключевые слова: мобильный робот, контроль движения, планирование пути.

Теория и методы исследования

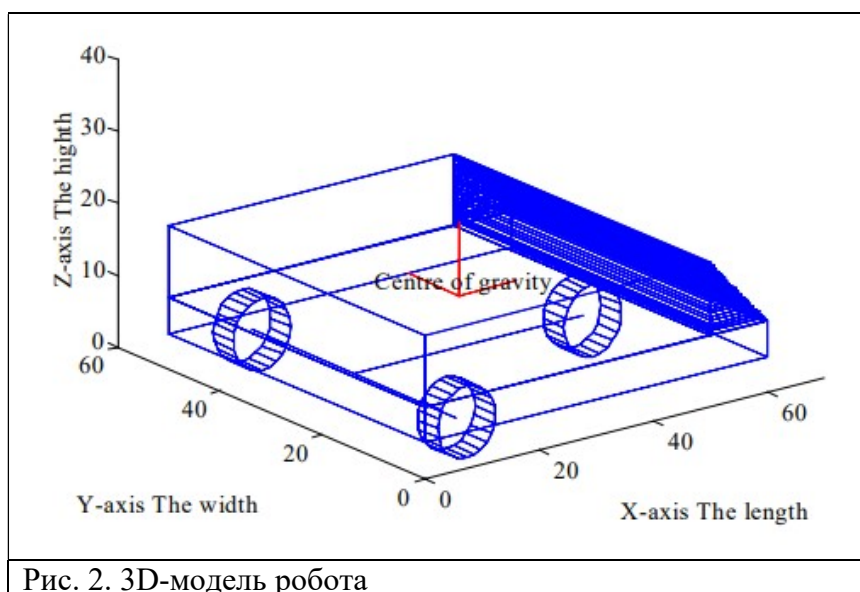
Рассматриваемый робот моделируется как трёхмерное твёрдое тело, состоящее из ряда мелких частиц, соединённых между собой. Частицы имеют кубическую форму с равномерной плотностью.

С помощью общей модели можно рассчитать массу, инерцию и центр тяжести каждой частицы. Затем можно получить общую массу, инерцию и центр тяжести всего тела робота. Оси системы отсчёта всего корпуса обозначаются как X_0 , Y_0 , Z_0 , в то время, как X_n , Y_n , Z_n оси системы отсчёта для частиц n (рис. 1). Исходные координаты каждой частицы n

обозначаются как X_{n0} , Y_{n0} , Z_{n0} , а X_{nmax} , Y_{nmax} , Z_{nmax} – как максимальные размеры частицы по отношению к исходной системе частиц.



На рисунке 2 показана модель робота, построенная в среде Matlab.



Большинство кинематических моделей мобильных роботов предполагают, что не происходит проскальзывания шин, поэтому входы в систему являются правыми и левыми угловыми скоростями ω_r и ω_l соответственно. Тогда движение робота можно описать простой кинематикой жестких тел. Для определения движения робота очень важно определить положение и ориентацию робота как местоположение и ориентацию центра тяжести, по отношению к фиксированной мировой системе отсчета. При условии отсутствия проскальзывания шины линейные скорости правого и левого колес могут быть выражены как:

$$v_r = R_l \omega_r \hat{i}$$

$$v_l = R_l \omega_l \hat{i}$$

Уравнения движения твердого тела относительно каждого колеса:

$$V_R = V_g + r\hat{k} \left(-L_r\hat{i} - \frac{T_r}{2}\hat{j} \right) = u\hat{i} + v\hat{j} + r\frac{T_r}{2}\hat{i} - rL_r\hat{j}$$

$$V_L = V_g + r\hat{k} \left(-L_r\hat{i} + \frac{T_r}{2}\hat{j} \right) = u\hat{i} + v\hat{j} - r\frac{T_r}{2}\hat{i} - rL_r\hat{j}$$

где V_g – вектор скорости центра тяжести, L_r – расстояние от заднего моста до центра гравитации, T_r – расстояние между двумя ведущими колёсами (рис. 3).



Рис. 3. Геометрические параметры уравнений движения

Используя вышеприведённые уравнения, получим полную кинематическую модель робота:

$$u = (\omega_r + \omega_l) \frac{R_l}{2}$$

$$r = (\omega_l - \omega_r) \frac{R_r}{T_r}$$

$$v = (\omega_l - \omega_r) \frac{L_R R_r}{T_r}$$

Теперь можно получить направление, скорости и положение робота в мировой системе координат:

$$\vartheta_0 = \int r dt$$

$$V_x = u \cos \vartheta_0 - v \sin \vartheta_0$$

$$V_y = u \sin \vartheta_0 + v \cos \vartheta_0$$

$$X_0 = \int V_x dt$$

$$Y_0 = \int V_y dt$$

где V_x и V_y компоненты скорости транспортного средства, X_0 , Y_0 и ϑ_0 указывают на положение робота в системе координат и его направление.

Рассмотрим динамическую модель робота. Поскольку робот представляет собой трёхступенчатую степень свободы, допускающая движение только в продольном и боковом направлениях вместе с угловым смещением, уравнение силы и движения может быть выражено как:

$$\sum F_x = m(\dot{u} - vr)$$

$$\sum F_y = m(\dot{v} - ur)$$

$$\sum M_z = I_z \dot{r}$$

Силы, воздействующие на робота, являются силами, воздействующими на правые и левые ведущие колеса. Эти силы пропорциональны приложенному крутящему моменту минус количество крутящего момента, необходимое для ускорения колес. Приложенный крутящий момент состоит из линейного крутящего момента для ускорения робота и углового момента для ускорения колес.

$$T_{app} = T_{lin} + T_{ang},$$

где T_{app} , T_{lin} , T_{ang} – полный, линейный и угловой моменты соответственно. Линейный крутящий момент преобразуется в продольную силу.

$$F_x = \frac{T_{lin}}{R_t}$$

$$T_{ang} = I_z \dot{\omega} = I_z \frac{\dot{u}}{R_t}$$

$$F_x = \frac{T_{app} - T_{ang}}{R_t} = \frac{R_t T_{app} - I_z \dot{u}}{R_t^2}$$

$$F_{x_r} = \frac{R_t T_{appr} - I_z \dot{u}_r}{R_t^2}$$

$$F_{x_l} = \frac{R_t T_{appl} - I_z \dot{u}_l}{R_t^2}$$

Динамическими уравнениями, описывающими движение робота с точки зрения ускорения, являются:

$$\dot{V}_x = \frac{F_{x_r} + F_{x_l}}{m} + V_y \omega$$

$$\dot{V}_y = \frac{F_{y_r} + F_{y_l}}{m} - V_x \omega$$

$$\dot{r} = \frac{L_r F_{x_r} - L_l F_{x_l} - L_R (F_{y_r} + F_{y_l})}{I_z}$$

Планирование пути

Планирование пути имеет дело с перемещением робота в ранее известных окружающих средах. Он играет важную роль в создании эффективного сложного мобильного робота. Проектирование пути, а также формирование траектории робота требуются до начала его перемещения. Робот перемещается от стартовой позиции к целевой точке рабочего пространства (рис. 4). На роботе устанавливается датчик движения, предназначенный для прохождения заданной траектории. Существует множество методов генерации траекторий для преодоления поверхности с точки зрения её гладкости, кривизны, а также непрерывности. Некоторые из этих методов являются сложными и трудоемкими. В данной статье будет рассмотрен эффективный метод генерации пути и траектории, заключающийся в генерации прямых линий, соединенных круглыми дуговыми сегментами с заданным радиусом и углом поворота. Круглые сегменты нужны для того, чтобы избежать остановки робота и обеспечить непрерывность его движения. Этот метод основан на следующих параметрах:

- 1) Координаты начала определённого отрезка и его конца,
- 2) Начало каждого сегмента круговой дуги, его радиус и угол поворота, соответствующий изменению ориентации.

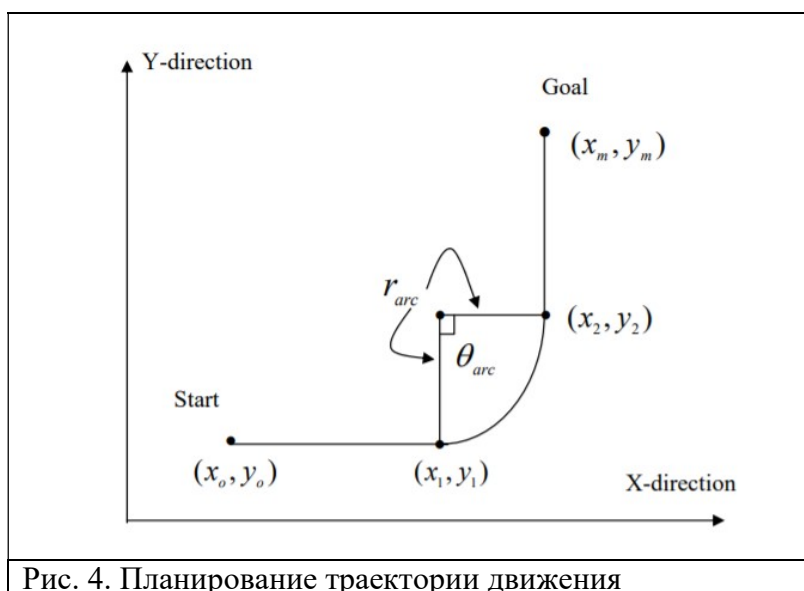


Рис. 4. Планирование траектории движения

Для каждой секции установлена начальная скорость, равная скорости предыдущего выхода из секции. Описываемая скорость обеспечивает непрерывность движения, которая может быть предотвращена, если заранее известно, что робот будет работать на скользком участке или если он будет выполнять разворот. Если начальная скорость робота слишком велика для его последующего замедления при выходе из секции, необходимо установить более низкую скорость. Второй шаг заключается в том, чтобы проверить, является ли длина секции достаточно большой, чтобы позволить роботу достичь максимальной скорости. Если данное условие не выполняется, то результирующая скорость постоянного ускорения является конечной скоростью участка. Первый и второй этапы вместе позволяют пренебречь превышением скорости движения над той, которой могут обладать приводы робота с фиксированным ускорением. На третьем шаге конечная скорость текущей секции установлена равной скорости запуска следующего раздела для поддержания плавности и непрерывности движения, а также замедления в каждой секции, чтобы завершить раздел и достичь скорости начала следующей секции.

Контроль движения

Задача контроллера заключается в достижении различных целей и желаемых функций робота, выраженных в его движении (рис. 5, 6). Кроме того, он предназначен для правильного выполнения запланированных последовательностей движений при обнаружении какой-либо ошибки. В данной работе будут рассмотрены стратегии управления перемещением робота, основанные на управлении тяговыми силами, вызывающими движение, а также отслеживание желаемого пути без проскальзывания или отклонения от заданного маршрута.

Управление движением тяги имеет некоторые желаемые функции, такие как:

- 1) поддержание максимально быстрого ускорения и замедления,
- 2) поддержание требуемой траектории,
- 3) поддержание устойчивости робота во время манёвров;
- 4) предотвращение скольжения робота.

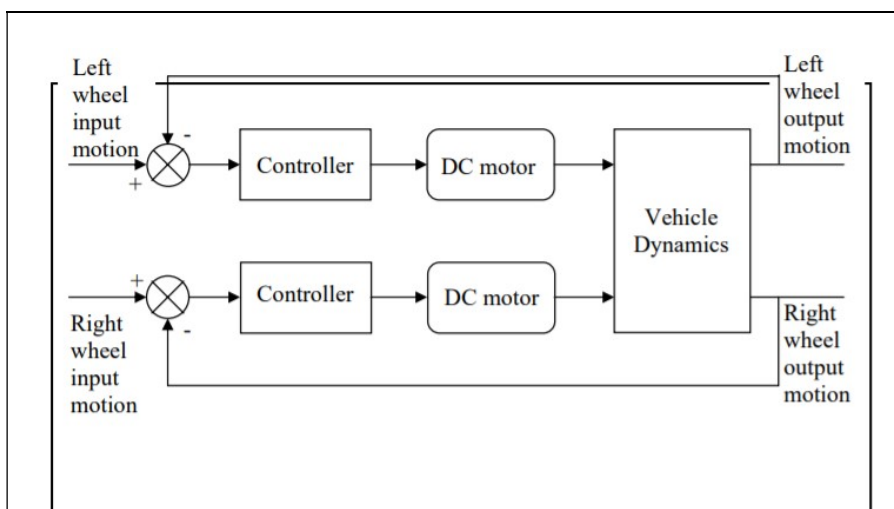


Рис. 5. Блок-схема модели робота

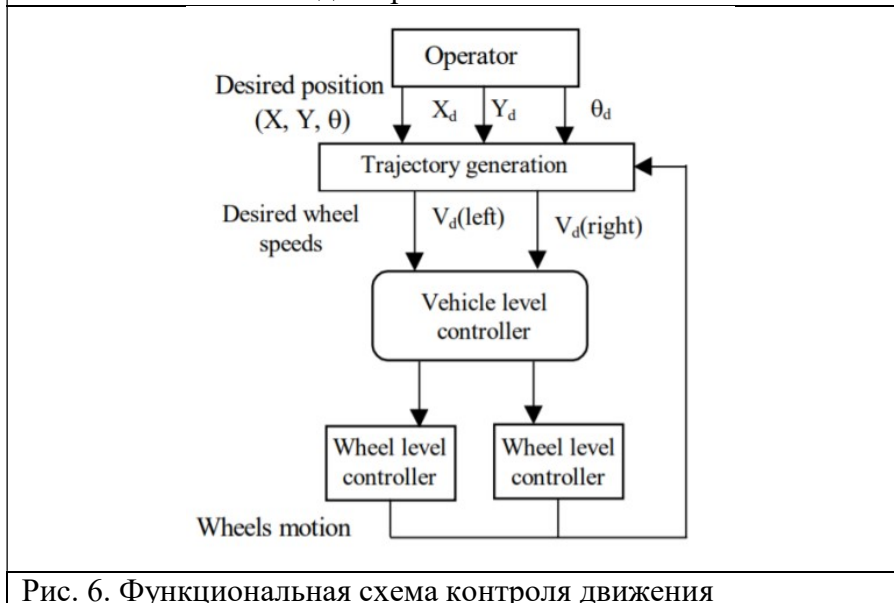


Рис. 6. Функциональная схема контроля движения

Задачи контроллера имеют две составляющие. Первая составляющая – стратегия управления низким уровнем, который имеет дело с динамическими изменениями в роботе. Вторая –

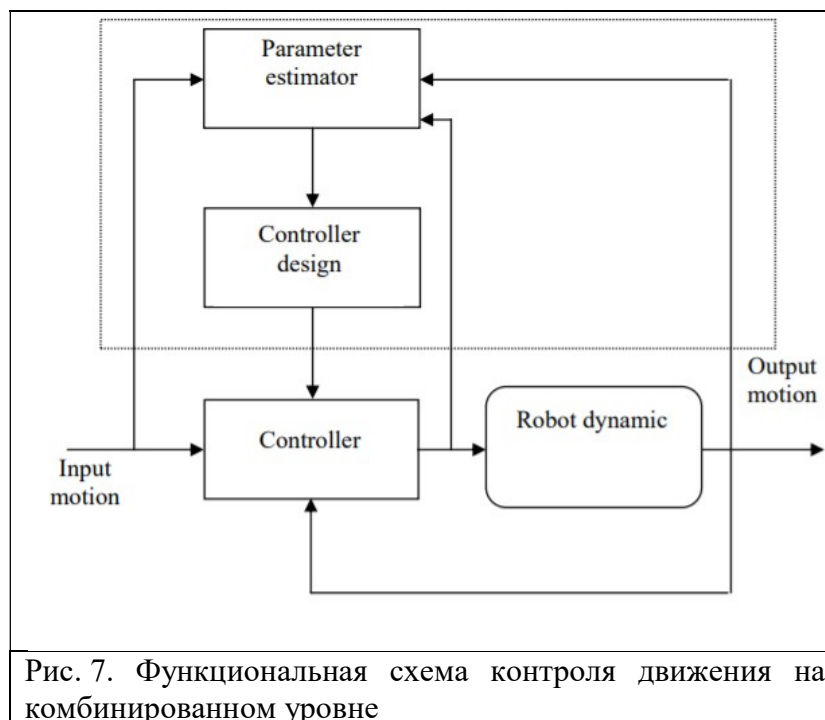
стратегия управления, которая связана с изменениями в среде, в которой находится робот (так называемый «Высокий уровень»).

Стратегия управления низким уровнем

Здесь рассматривается адаптивный алгоритм управления движением, основанный на самостоятельном адаптивном контроллере размещения полюсов. Контроллер был разработан с PID структуры для оценки изменений в динамических параметрах системы. Самонастраивающаяся адаптивная структура управления обеспечивает хорошую основу для оценки параметров модели. Это может быть достигнуто с помощью оценки механизма. Теперь контроллер способен справиться с динамическими изменениями и принять надлежащие меры для регулировки движения, если это понадобится. Однако он не может оценивать состояние поверхности и справляться с ним.

Стратегия управления комбинированным уровнем

В данной стратегии комбинированная база представлена как способ управления движением на «низком» и «высоком» уровнях управления. Объединённый контроллер принимает во внимание динамику робота и структуру окружающей его среды (рис. 7). Двумя основными вопросами, которые следует учитывать, включая структуру окружающей среды, являются: наличие препятствий в окружении и состояние поверхности, такие как гладкость и сухость.



Полученные результаты и их обсуждение

Общая динамическая модель для представления транспортного средства в качестве трёхмерного жёсткого кузова была построена с использованием программного обеспечения Matlab. Модель рассчитывает массу, центр тяжести и инерцию всего тела. Эти значения используются в динамической модели робота. Эффект адаптивного уровня и комбинированного контроллеров были исследованы на модели робота с изменениями состояния проходимой им поверхности (т.е. различных коэффициентов трения

поверхности). Полученные результаты свидетельствуют о том, что контроллер низкого и высокого уровней адаптивности способен компенсировать изменения состояния пути и справляться с ними, а также обеспечивать лучшее отслеживание пути. Определение местоположения мобильного робота играет важную роль в поддержании быстрого, плавного отслеживания пути. Измерение положения робота в рабочем пространстве даёт контроллеру высокого уровня указание на то, испытывает ли робот проскальзывание. Все эти вопросы важны для управления движением. Комбинированная система управления исследована и испытана на дифференциальном приводе мобильного робота. Результаты моделирования показывают, что производительность мобильного робота с комбинированной системой усовершенствована, а также повышена точность отслеживания маршрутов.

Список литературы

1. Албагюль А. Dynamic Modelling and Control of a Wheeled Mobile Robot // University of Newcastle upon Tyne, 2001. С. 3–90.
2. Де Сантис Р. М. Modelling and Path-tracking Control of a mobile Wheeled Robot with a Differential Drive, Robotica, 1995, С. 13–25.
3. Хонго Т., Аракава Г., Сугимото Г., Танге К., Ямаото К. An Automatic Guidance System of a Self-Controlled Vehicle.
4. Нельсон В. Л. Local Path Control for an Autonomous Vehicles, 1991 С. 50–60.
5. Вилфонг Г. Т. Motion Planning for an Autonomous Vehicle, 1988 С. 3–10.

Dynamic Modelling and Adaptive Traction Control for Mobile robots

Govorkov Y. A.

Don State Technical University, 344003, Russia, Rostov-on-Don, Gagarina sq., 1

Mobile robots have many applications. For example, in the field of industry, their main tasks are to move objects from place to place, to assemble machine parts, etc. In addition, robotics are applicable for medical, social and domestic purposes. In recent years, research on mobile robots has attracted a lot of attention as they are increasingly used in a wide range of applications. In the beginning, most studies have focused on the use of kinematic models of mobile robots for motion control. The study later adopted a different approach and focused on robots with an additional sensor system to develop autonomous trajectory planning systems. This direction has led to the emergence of complex sensor systems that can study the operating environment and therefore assess the obstacles to achieving the very goal of path planning. However, some studies have also addressed issues related to the dynamic characteristics of the traffic required for tracking. The issues of calculating suitable trajectories under conditions of terrain change and road restrictions was studied. The problems of road manipulation and traction become very important when the robot is subjected to dynamic variations. These changes include changes in robot inertia and center of gravity caused by a variable load. Changes in terrain, texture or wheel properties due to wear, pollution or deformation play a significant role in robot movement.

Keywords: mobile robot, motion control, path planning.