

УДК: 519.876.5, 621.865.8-8

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВСЕПОВЕРХНОСТНОГО РОБОТА-ГЕКСАПОДА

Чикрин Д.Е., Пашин Д.М., Тимершин Б.А., Галиуллин И.Г.,
Егорчев А.А., Кокунин П.А. (Казань)

Введение

Одной из главных целей современной роботехники служит создание роботов, которые могут уверенно передвигаться в условиях разнообразного рельефа, включая пересеченную местность. На ранних этапах проектирования робототехнических систем существует потребность в исследовании различных характеристик с учетом вариативности конструктивных особенностей. Ввиду сложности проектируемых объектов, разработчики должны обеспечить соответствие конечного продукта запросам потребителя и требованиям рынка. В настоящее время в индустрию промышленности активно внедряется виртуальная реальность для верификации, моделирования, тестирования и взаимодействия с виртуальными прототипами, которые дешевле и требуют меньше временных ресурсов для изготовления по сравнению с физическими прототипами.

Целью данной работы является виртуальное моделирование шагающего робота гексаподного типа в симуляторе Gazebo.

Основные задачи исследования включают:

1. Изучение пакета Gazebo и его применение в моделировании всеповерхностного робота-гексапода.
2. Исследования существующих типов робототехнических платформ.
3. Разработка кинематической схемы реализуемой робототехнической платформы.
4. Моделирование механико-кинематической структуры в виртуальном симуляторе Gazebo с учетом разработанной кинематической схемой.
5. Моделирование сенсорных систем в виртуальном симуляторе Gazebo.
6. Формирование выводов по результатам проделанной работы.

Основная часть

Робот как машина состоит из двух основных частей – исполнительных систем и устройства управления ими с сенсорной системой [1]. Исполнительные системы включают в себя манипуляционные системы (обычно в виде механических манипуляторов) и системы передвижения, имеющейся только у подвижных всеповерхностных роботов. В рамках данной работы рассматривается мобильный класс роботов.

По способу передвижения робототехнические платформы подразделяют на следующие классы:

1. Колесные;
2. Гусеничные;
3. Шагающие;
4. Гибридные (комбинированные);
5. Плавающие;
6. Воздушные;
7. Специализированные.

Для исследования был выбран шагающий тип мобильных роботов. Создание таких роботов – трудоемкий процесс, однако они представляют значительный практический интерес для исследователей, поскольку обладают отличной маневренностью и способностью к перемещению по любым поверхностям.

Шагающих роботов принято классифицировать по числу их конечностей. В настоящее время наиболее распространенными считаются следующие классы роботов:

- двуногие (биподные) – роботы-андроиды, прообразом которых является человек;
- четырехногие (квадроподные) – роботы, прообразом которых являются животные;
- шестиногие роботы (гексаподные) – роботы, прообразом которых являются насекомые.

Гексапод – один из популярных типов шагающих роботов, характеризующийся наличием шести ног. Данный робот отличается высокой стабильностью и способен развивать значительную скорость при использовании статически устойчивого метода ходьбы. Кроме того, гексаподы имеют определенный уровень механической отказоустойчивости: они могут продолжать движение даже при отказе одной “ноги”, используя соответствующий алгоритм ходьбы и адаптированное планирование походки.

Общая архитектура шагающего гексапода определяется формой и характеристиками корпуса и его конечностей.

На основе расположения ног робота выделяют две конструктивные модификации: радиально-симметричная, симметричная вдоль продольной оси [2].

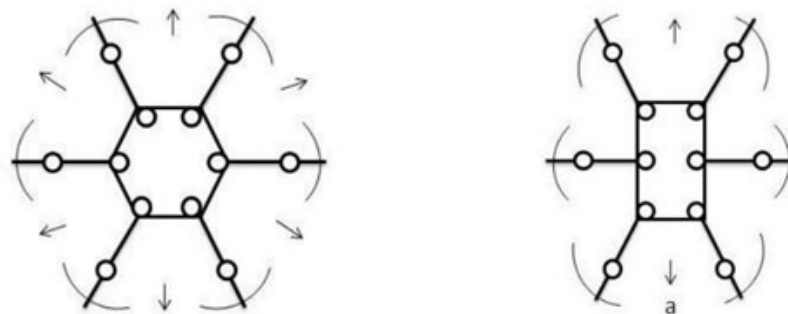


Рис. 1. Схемы конструкций корпуса робота-гексапода

Радиально-симметричная конструкция привлекательна тем, что не имеет направленности, что позволяет роботу двигаться в любом направлении. Симметричная конструкция более приспособлена к прямолинейному передвижению.

Роботы-гексаподы также классифицируются по типам конечностей:

1. Однорычажный односегментный,
2. Однорычажный многосегментный,
3. Многорычажный,
4. Телескопический,
5. Дуговой [3].

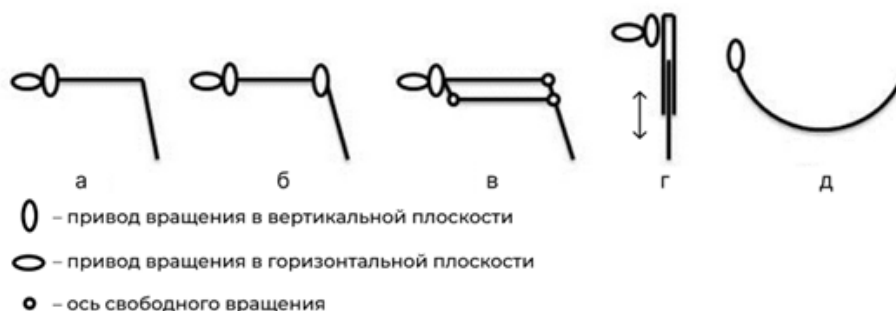


Рис. 2. Схемы конструкций конечностей шагающего робота:
 а – однорычажная односегментная, б – однорычажная многосегментная,
 в – многорычажная, г – телескопическая, д – дуговая [4]

Каждый из этих типов отличается своими достоинствами и применяется для определенного вида задач.

Проброобразом шагающих роботов являются конечности живых существ, соответственно порядок движительных действий повторяет таковые у насекомых или животных.

Существует несколько основных видов передвижений шагающих роботов: треножный, волнообразный и пульсирующий. Схемы каждого из типов движения представлены на рис. 3.

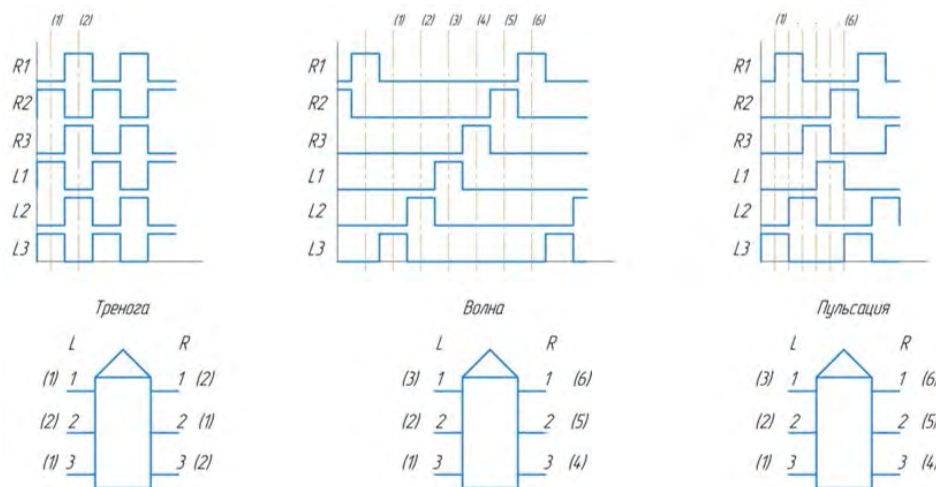


Рис. 3. Схемы и диаграммы движения шагающего робота: пиковое значение – движение ноги, нулевое – отсутствие движения

Разработка кинематической схемы всеповерхностного робота

В ходе работы была проведена разработка кинематической схемы робота-гексапода (рис. 4) и последующее виртуальное моделирование трех типов его передвижения. Симулятор Gazebo поддерживает ограниченное количество типов соединений звеньев модели: вращательное (revolute), шестереночное (gearbox), вращательное по двум осям (revolute 2), поступательное (prismatic), сферическое (ball), винтовое (screw), фиксированное (fixed).

Вращательный тип (revolute) соединения отвечает за вращательное движение относительно некоторой оси. Он используется для моделирования сгибания/разгибания, вращения, поворота.

Принцип действия шестереночного типа (gearbox) соединения схож с принципом соединения двух шестеренок, где одна шестеренка приводит в движение другую.

При использовании вращательного по двум осям соединения (revolute 2) дочерняя деталь может вращаться относительно родительской по двум осям. Данный тип джойнта может быть использован для моделирования крестовых соединений.

Поступательный тип соединения (prismatic) определяет движение одной детали вдоль другой.

Сферический тип соединения (ball) позволяет дочерней детали двигаться в любом направлении в пределах сферы относительно родительской.

Винтовой тип соединения (screw) совмещает в себе поступательное и вращательное движения. Движение элементов, соединенных данным джойнтом, напоминает закручивание болта в гайку.

Фиксированный тип соединения (fixed) не подразумевает никакого движения деталей относительно друг друга. Он используется для соединения неразрывных деталей.

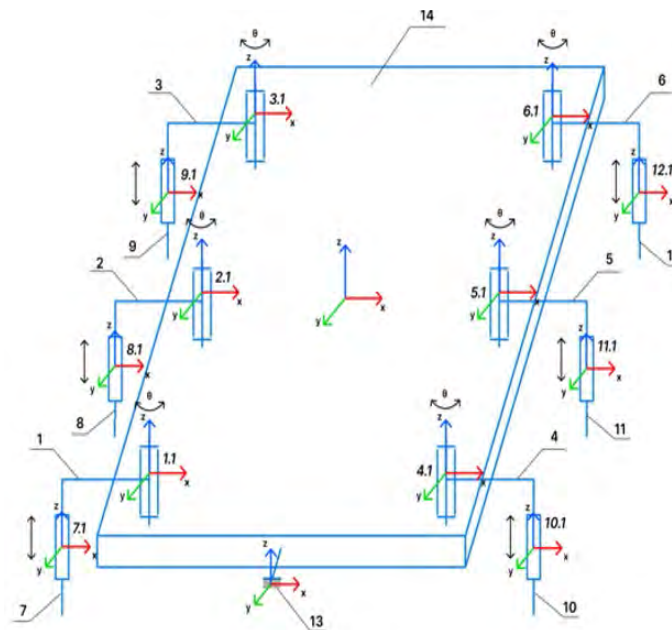


Рис. 4. Кинематическая схема робота-гексапода

Виртуальная модель робота-гексапода была смоделирована из различных частей, где основой является тело робота 14, к которому прикреплены плечи 1–6 и ножки 7–12. Плечи имеют вращательный тип соединения, который позволяет изменять их положение в плоскости XY на 360 град. Поступательный тип соединения, благодаря которому соединены плечи с ножками, позволяет изменять их положение в вертикальной плоскости. Таким образом, каждая связка «плечо + нога» имеет две степени свободы. Деталь 13, имеющая вид коробки, служит для размещения датчиков и имеет фиксированный тип соединения с телом 14.

Моделирование сенсорных систем в симуляторе Gazebo

Для обеспечения корректного функционирования разрабатываемой робототехнической системы в пространстве, необходимо оснастить ее определенным набором базовых датчиков-сенсоров: камерой, автономным навигационным блоком, спутниковым навигационным блоком.

В мире Gazebo датчики (сенсоры) описываются в конфигурационном файле модели с помощью тега `<gazebo reference>` и `<plugin>`. Каждый датчик определенным

типом соединения прикреплен к компоненту модели. Параметры датчиков, их расположение и ориентация относительно модели прописаны в файле модели. Для управления сенсорами существуют классы, унаследованные от базового класса `gazebo::SensorPlugin`. Визуальное отображение данных, получаемых с датчиков, возможно в графической части симулятора.

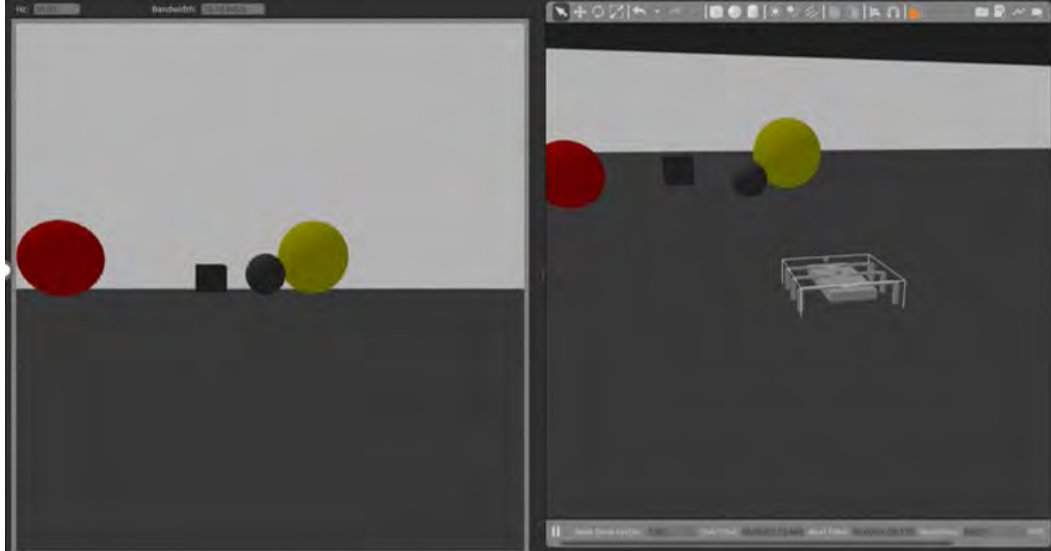


Рис. 5. Реализация камеры на модели всперхностного робота-гексапода в системе моделирования Gazebo

Для исполнения программного кода поведения платформы использовался фреймворк ROS (Robot Operating System), благодаря которому симулятор Gazebo довольно сильно расширяет свой функционал. Данный фреймворк позволяет низкоуровнево управлять устройствами, передавать сообщения между процессами и управлять пакетами данных.

В системе ROS каждый процесс, называемый нодой (node), отвечает только за одну конкретную задачу. Передача данных между нодами осуществляется через логические каналы – топики (topics) – посредством TCP/IP. Каждая нода может отправлять или получать данные от другой ноды, используя шаблон «издатель-подписчик» (publisher-subscriber pattern). Для системы ROS реализованы драйвера, позволяющие единым образом работать и управлять со многими устройствами, такими как контроллеры, GPS-датчики, камеры, лазерные дальномеры, сонары, инерциальные датчики и т.д.

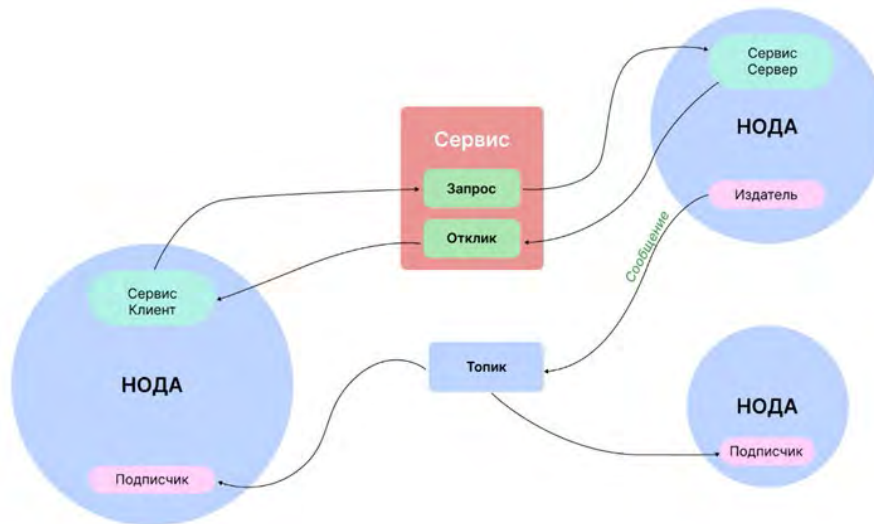


Рис. 6. Процесс передачи сообщений между нодами

Результаты моделирования

Для сравнения скорости передвижения робота в системе виртуального моделирования Gazebo [5] при разных типах походок был произведен замер средней скорости по прямой траектории в течение 15 секунд. Результаты экспериментов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты замеров средней скорости робота

Тип передвижения	Время, с	Расстояние, м	Скорость, м/с
Треножный	15	9	0,6
Волнообразный		4,5	0,3
Пульсирующий		6	0,4

Исходя из полученных данных заметно, что наиболее высокоскоростным является треножный тип передвижения, наименее – волнообразный. Такие результаты объясняются механикой самих походок и количеством итераций движений, которые необходимо сделать роботу в течение одного цикла перемещения.

К числу научных и практических результатов исследования относятся разработанная кинематическая схема и программный код сценариев передвижения, которые могут быть использованы в дальнейших исследованиях.

Литература

1. Юревич Е.И. Основы робототехники. СПб.: Изд-во БХВ – Петербург, 2018. 252 с.
2. Shidong, L. An Improved Force-Angle Stability Margin for Radial Symmetrical Hexapod Robot Subject to Dynamic Effects / L. Shidong, X. Guiyang, H. Deng, G. Zhong // International Journal of Advanced Robotic Systems. 2014.
3. Moore E.Z. Leg Design and Stair Climbing Control for the RHex Robotic Hexapod // Department of Mechanical Engineering. 2002.
4. Deshmukh A. Seminar Report Robot Leg Mechanisms // Department of Mechanical Engineering Indian Institute of Technology. 2006. 24 с.

5. Gazebo Simulator. URL: <http://gazebo.org/> (дата обращения: 01.05.2023).
6. Егорчев А.А. Верифицируемые системы виртуального моделирования беспилотных транспортных средств: дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2021. 340 с.
7. Чикрин Д.Е. Методологические основы проектирования инфокоммуникационных систем автомобильных транспортных средств высокой степени автоматизации: дис. ... д-ра техн. наук. Казань, 2021. 399 с.