

Применение симуляторов Gazebo и Webots для проверки физической совместимости мобильных роботов со складским помещением

А. С. Подгорный¹, Р. А. Мунасыпов^{✉ 2}

¹РН-Технологии

119607, Россия, Москва, Раменский бульвар, 1

²Уфимский университет науки и технологий

450076, Россия, г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32

Аннотация. В статье сравниваются два симулятора роботов с открытым исходным кодом в применении к складу, подходящих для импортозамещения.

Цель исследования – выяснить, подходят ли симуляторы Webots и Gazebo для проверки физической совместимости мобильных роботов со складским помещением, а также сравнить, какой из них лучше выполняет поставленную задачу.

Материалы и методы исследования. Симуляторы сравниваются методом выполнения тестового задания – прохождения роботом маршрута по складу с помощью радиоуправления. Маршрут включает в себя остановки в зоне разгрузки и загрузки, маневрирование между стеллажами, проезд в узких пространствах, длинные скоростные участки. Условия выполнения задачи идентичные – одинаковые модели склада, одинаковые модели робота, одинаковый маршрут и одинаковый компьютер для запуска симуляции.

Результаты. В процессе подготовки сцены, моделей робота, доработки стандартной программы робота и прохождения тестового задания были отмечены особенности использования симуляторов, такие как удобство пользовательского интерфейса, его адаптивность, стабильность симулятора, его производительность, возможности работы с моделями роботов и построения сцен. Отдельно отмечены необходимость использования стороннего программного обеспечения для построения сцен и разработки программ для симулятора, подробность документации к симуляторам, качество предоставленных разработчиками моделей. Результаты тестового задания сравнивались между симуляторами по точности траектории поворотов, отзывчивости управления, возможностям наблюдения за результатами симуляции в реальном времени.

Заключение. В результате тестирования роботов в обоих симуляторах маршрут был успешно пройден, маневренности роботов оказалось достаточно для совершения всех поворотов и разворотов. Траектория маневров роботов совпадает в обоих симуляторах, движение происходит плавно и предсказуемо. Несмотря на идентичный результат испытаний симулятор Webots показал себя лучше Gazebo в отношении удобства использования, стабильности и производительности. В отличие от Gazebo симулятор Webots поставляется со всеми необходимыми утилитами для создания сцены и написания программ, имеет более подробную документацию и более качественные модели роботов. Таким образом, из симуляторов роботов с открытым исходным кодом симулятор Webots лучше подходит для складского применения, чем симулятор Gazebo.

Ключевые слова: симуляция, мобильный робот, склад, импортозамещение, открытый исходный код, совместимость

Поступила 19.04.2026, одобрена после рецензирования 21.05.2026, принята к публикации 07.08.2026

Для цитирования. Подгорный А. С., Мунасыпов Р. А. Применение симуляторов Gazebo и Webots для проверки физической совместимости мобильных роботов со складским помещением // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2026. Т. 28. № 4. С. 21–32. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-4-21-32

MSC: 68M14

Original article

Gazebo and Webots simulators for mobile robot physical compatibility verification in a warehouse environment

A.S. Podgorniy¹, R.A. Munasypov^{✉ 2}

¹RN-Technologies

1, Ramenskiy boulevard, Moscow, 119607, Russia

²Ufa University of Science and Technology

32, Zaki Validi street, Ufa, 450076, Russia

Abstract. The study compares two open-source robot simulators in a warehouse context, assessing their potential for technological sovereignty.

Aim. The study aims to determine whether the Webots and Gazebo simulators are suitable for verifying the physical compatibility of mobile robots with a warehouse environment, and to compare which of them performs this task more effectively.

Materials and methods. The simulators are compared by executing a test task: a robot navigating a route through a warehouse via teleoperation. The navigation path comprises stops at the loading and unloading bays, maneuvering between storage racks, driving through confined spaces, and traversing long high-speed sections. To ensure identical testing conditions, the simulation benchmarks were performed using uniform warehouse and robot models, a standardized route, and the same hardware configuration.

Results. During scene preparation, robot modeling, standard robot software refinement, and test task execution, key operational features of the simulators were identified, such as user interface usability, adaptability, simulator stability, performance, and capabilities for robot modeling and scene construction. Special note was made of the necessity to use third-party software for scene construction and simulator program development, the comprehensiveness of the simulator documentation, and the quality of the models provided by the developers. The test task results were compared between the simulators based on cornering trajectory accuracy, control responsiveness, and real-time simulation monitoring capabilities.

Conclusion. Testing in both simulators showed that the route was successfully completed, with the robots' maneuverability being sufficient for all turns and U-turns. The robots' maneuver trajectories match in both simulators, with the movement being smooth and predictable. Despite identical test results, the Webots simulator outperformed Gazebo in terms of usability, stability, and performance. Unlike Gazebo, the Webots simulator comes bundled with all the necessary tools for scene construction and software development, while also offering more comprehensive documentation and higher-quality robot models. Thus, among open-source robot simulators, Webots is better suited for warehouse applications than the Gazebo simulator.

Keywords: simulation, mobile robot, warehouse, import substitution, open source, compatibility

Submitted 19.04.2026, approved after reviewing 21.05.2026, accepted for publication 07.08.2026

For citation. Podgorniy A.S., Munasypov R.A. Gazebo and Webots simulators for mobile robot physical compatibility verification in a warehouse environment. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2026. Vol. 28. No. 4. Pp. 21–32. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-4-21-32

© Podgorniy A.S., Munasypov R.A., 2026



Content is available under license [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня часто используется автоматизация складов с помощью роботов. Как правило, современные высокотехнологичные складские системы строятся и проектируются с нуля, чтобы обеспечить максимальную эффективность работы с учетом отличия возможностей роботов и возможностей человека, а также для интеграции вспомогательного оборудования, необходимого для точной навигации роботов в пространстве склада и точной манипуляции палетами [1].

Но построение склада с нуля – это очень дорогостоящее мероприятие с длительным периодом окупаемости, поэтому существует такая область деятельности, как интеграция роботов в существующие склады, чтобы обеспечить ускорение складских процессов без масштабных вложений.

Каждое складское помещение уникально, поэтому симуляция робота на модели исследуемого помещения необходима, чтобы минимизировать риск невозможности робота оперировать на конкретном складе [2]. Поэтому программное обеспечение, позволяющее с наименьшими усилиями создать модель склада или импортировать готовую, смоделировать типичные сценарии перемещения складского робота, проверить физическую совместимость робота со складом, является актуальным.

Современное состояние программ симуляции робототехники таково, что существует множество программ, привязанных к роботам конкретной фирмы, множество платных программ с закрытым исходным кодом разной степени направленности, но существует гораздо меньше программ с открытым исходным кодом, которые могли бы применяться в условиях импортозамещения [3]. Уже существуют исследования по складскому моделированию роботов, но они выполнены с использованием зарубежного проприетарного программного обеспечения и потому неприменимы в текущих реалиях.

Существует множество симуляторов роботов. Часто их создают производители под свою линейку роботов для того, чтобы упростить разработку программ для них и тестирование, например Kuka.Sim [4], DobotLab. Также существуют проприетарные универсальные симуляторы, например, Factory I/O [5], CoppeliaSim [6].

Несмотря на возможность бесплатного использования некоторых из этих программ в целях обучения их внедрение в производственный процесс затруднено ввиду сложности организации процесса лицензирования программного обеспечения в условиях развивающегося технологического суверенитета страны. Таким образом, возникает необходимость в симуляторах, обладающих открытой лицензией¹. Симуляторы Webots и Gazebo, несмотря на зарубежное происхождение, имеют открытый исходный код, позволяют осуществлять аудит кода, адаптацию, а также свободное использование для любых целей, что подходит для использования в условиях импортозамещения [7].

ОБЗОР СИМУЛЯТОРОВ

Симулятор – это имитатор, механический или компьютерный, воссоздающий управление каким-либо процессом, аппаратом или техническим средством [8].

Таким образом, под симулятором робота можно понимать вариант компьютерного имитатора, воссоздающего управление автономным складским роботом и служащего для решения складских задач. Например, транспортировка груза между стеллажами, разгрузка грузовика, погрузка на грузовик, транспортировка на место сборки.

¹Статья 1286.1. Открытая лицензия на использование произведения науки, литературы или искусства // Гражданский кодекс Российской Федерации (часть четвертая) от 18.12.2006 № 230-ФЗ

Симулятор позволяет тестировать различные модели роботов и различные конфигурации склада: например, разные расположения стеллажей, разное количество роботов, разные размеры палет. Он также позволяет спрогнозировать потенциальную проблему масштабирования действующих единиц.

Существуют симуляторы с упрощенной визуализацией, ориентированные на стохастические процессы, например AnyLogic. Подобные симуляторы позволяют довольно точно протестировать время ожидания, загрузку склада, но они не содержат физического движка, позволяющего моделировать столкновения объектов, устойчивость и прочие физические характеристики. Поэтому задачу проверки физической совместимости робота с моделью склада они выполнить не смогут.

Для решения задачи моделирования робота в складском помещении были отобраны две программы – Gazebo и Webots, результаты работы в них подлежат сравнению.

Webots – это универсальный симулятор роботов с открытым исходным кодом (рис. 1). Он поставляется с готовыми файлами проекта для 63 различных роботов, среди которых есть как широко известные роботы (Kuka youBot, Boston Dynamics' Atlas, Sony's Aibo ERS7), так и малоизвестные. Симулятор поддерживает программирование на языках C, C++, Java, Python, MATLAB. Поддерживается эмуляция множества периферийных устройств, таких как акселерометр, GPS, Lidar, дисплей, камера, компас, двигатели, радары, батареи и прочие. Симулятор поставляется с набором готовых моделей помещений, нескольких открытых пространств, например город, пересеченная местность, и также позволяет импортировать свои. К сожалению, в симуляторе нет ни одной модели склада, но есть три модели складских роботов. Программа загружает модели из интернета по мере надобности, но на сайте есть возможность загрузить все модели сразу для использования без доступа к интернету.

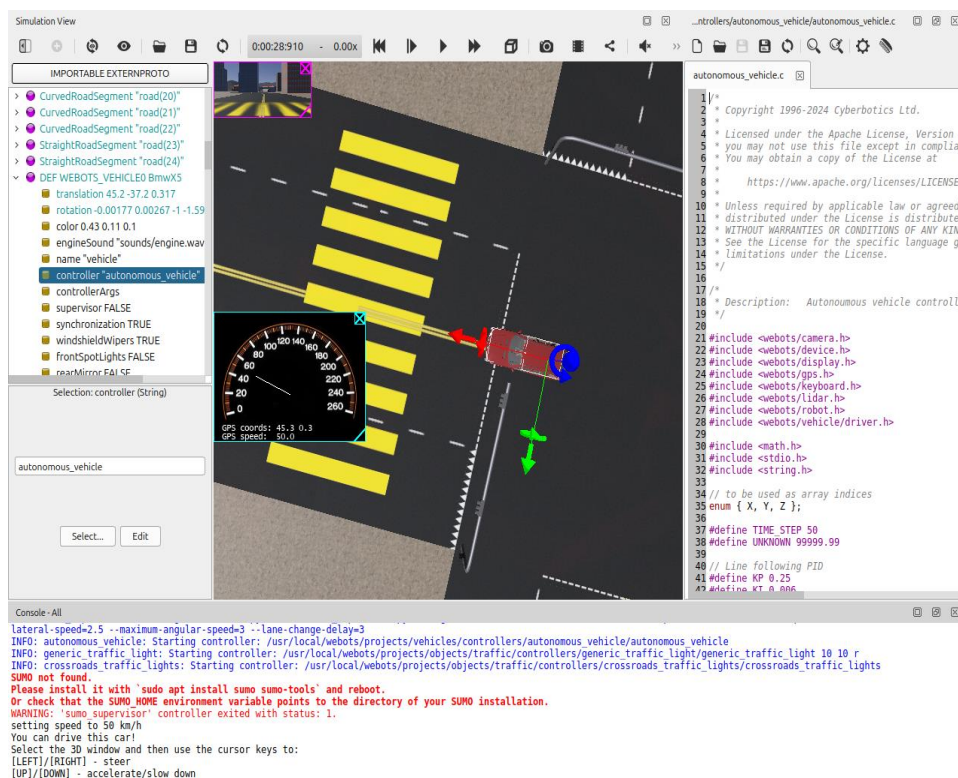


Рис. 1. Интерфейс симулятора Webots

Fig. 1. Webots simulator interface

Gazebo – это универсальный симулятор роботов с открытым исходным кодом (рис. 2). Он написан на языке C++, содержит множество библиотек для симуляции физики, обработки сложных сенсоров, таких как камеры и лидары, а также имеет несколько графических решений для фотореалистичного рендеринга. По умолчанию используется физический движок DART [9].

Для скачивания роботов в симуляторе Gazebo используется интернет-библиотека Fuel. Она содержит множество готовых роботов и окружений. Встроенный в симулятор плагин позволяет искать и скачивать модели прямо из интерфейса симулятора, но качество моделей уступает моделям из симулятора Webots. Также библиотека Fuel не предоставляет возможности скачать все модели для использования оффлайн.

Симулятор поставляется с одной моделью склада, на сайте библиотеки моделей Fuel можно скачать две модели складских роботов, а также множество моделей мобильных и стационарных роботов для прочих видов деятельности.

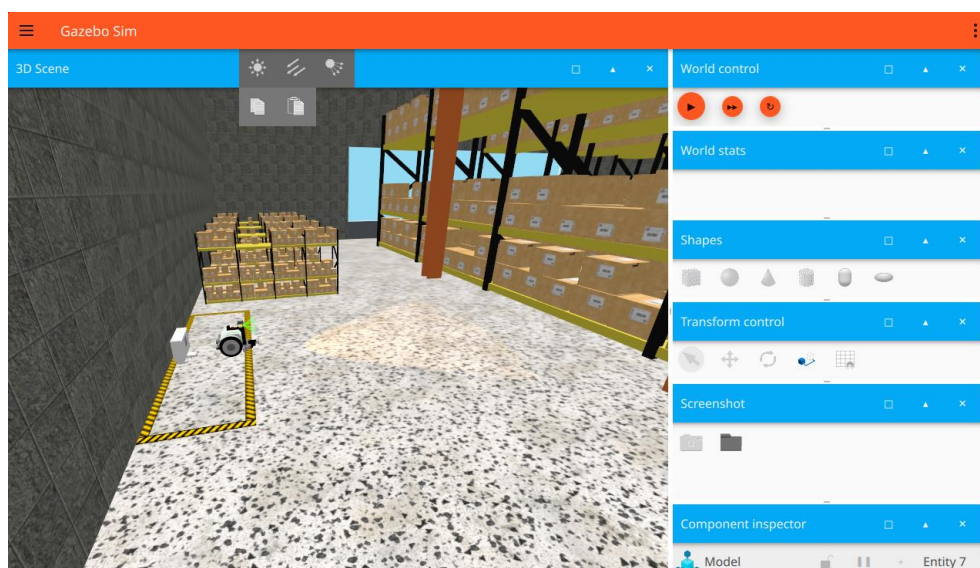


Рис. 2. Интерфейс симулятора Gazebo

Fig. 2. Gazebo simulator interface

Таблица 1. Прямое сравнение программ-симуляторов

Table 1. Direct comparison of simulation software

Симулятор	Поддержка языков программирования	Количество моделей складских роботов	Количество моделей складов	Интерфейс	Поддерживаемые форматы моделей	Поддерживаемые датчики
Webots	C, C++, Java, Python, MATLAB	3	0	Полностью настраиваемый	dae, obj, stl	Камера, лидар, датчик ускорения, компас, GPS, гироскоп, датчик света, энкодер, радар, камера глубины, датчик радиоволн, датчик касания
Gazebo	C++	2	1	Частично настраиваемый	dae, stl	Давление воздуха, скорость ветра, камера, камера глубины, датчики высоты, скорости, момента, ускорения, магнитного поля, лидар, GPS, тепловизор

Производительность симуляторов

Симулятор Webots имеет следующие системные требования: процессор – частота более двух гигагерц, два и более ядра, 4 ядра рекомендуется; память – 2 гигабайта и выше; видеокарта – производителя Nvidia или AMD с версией OpenGL 3.3, 512 МБ видеопамяти.

Авторы симулятора Gazebo не указали системные требования для своей программы, однако тесты показывают, что в одинаковых условиях симулятор Gazebo работает в два раза медленнее, а именно – демонстрирует меньшее количество кадров в секунду по сравнению с симулятором Webots на одинаковом компьютере и с аналогичной сценой [10].

Навигация в программе

Внешний интерфейс симулятора Webots представляет собой несколько областей: структура объектов, область взаимодействия, тестовый редактор и консоль. Над каждой областью находится несколько кнопок, отвечающих за действие с конкретной областью. Это типичное решение для всех симуляторов, поэтому если у пользователя уже имеется опыт работы с другими симуляторами, движками для создания игр или программами для трехмерного моделирования, то при переходе с другого симулятора пользователь сможет быстро адаптироваться к интерфейсу.

Интерфейс симулятора Gazebo выглядит очень простым. Левая область представляет собой область взаимодействия, а правая целиком уделена модулям: например, модуль структуры объектов, свойства, модуль запуска симуляции, модуль удаленного управления. Есть возможность разместить модули на область взаимодействия, но тогда они будут частично закрывать ее. Интерфейс имеет очень большие отступы и адаптирован под работу на сенсорном экране. Из-за этого стандартный набор модулей не помещается на экране целиком, поэтому необходимо прокручивать список модулей при работе с симулятором.

Работу в Webots можно осуществлять целиком внутри симулятора, включая написание кода, его редактирование и сборку. Симулятор Gazebo же не предполагает быть постоянно открытым, он используется только для тестирования файла симуляции, подготовленного из внешнего редактора кода, но может использоваться и для перемещения уже существующих объектов и импорта моделей из интернета. Также симулятор Gazebo не имеет возможности открывать сохраненную сцену через графический интерфейс, только через запуск из консоли или через ассоциацию файла. Симулятор не отображает ошибки в своем графическом интерфейсе, как это делает Webots, а пишет их в консоли, из которой был запущен, что еще раз подтверждает, что работа в нем ориентирована на внешний текстовый редактор и консоль.

Обе программы не позволяют переназначить клавиши взаимодействия с интерфейсом. При этом перемещение по сцене с использованием мыши сильно отличается от большинства симуляторов и программ для трехмерного моделирования. В симуляторе Gazebo вращение осуществляется средней кнопкой мыши, перемещение – левой, а масштаб – правой. В симуляторе Webots вращение осуществляется левой кнопкой мыши, перемещение – правой, а средняя кнопка мыши наклоняет камеру при перемещении по горизонтали и приближает при перемещении по вертикали. Функция наклона не отключается, поэтому после других симуляторов часто путает пользователя. В обоих симуляторах есть возможность следить за объектами, при этом в симуляторе Webots есть возможность одновременно наблюдать за несколькими камерами, прикрепленными к объекту.

Создание и импорт модели склада

Симуляторы поддерживают модели формата STL и DAE, являющиеся стандартными в программах для трехмерного моделирования. Формат DAE лучше поддерживается обоими симуляторами, обеспечивает предсказуемый масштаб модели, а также поддерживает текстуры формата PBR, являющиеся основой для фотореалистичного рендеринга. Оба симулятора предоставляют возможность создавать примитивные объекты типа кубов, сфер, плоскостей, но только Webots позволяет изменять размер примитивов из интерфейса без перезапуска программы, а также менять их цвет и текстуру. Размер импортируемых объектов в симуляторах фиксированный, из-за чего могут возникать конфликты, например, если при создании модели за единицу был принят сантиметр, а не метр, как в большинстве программ. Для обоих симуляторов желательно иметь навыки использования сопутствующего программного обеспечения для моделирования, например Blender, чтобы упростить создание модели склада, иметь возможность исправить недостатки моделей роботов и предметов, загруженных из неизвестных источников, а также осуществлять конвертацию форматов, так как форматы DAE и STL не всегда доступны для загрузки.

Сравнение симуляторов на тестовом задании

Для теста работы было выбрано одинаковое задание – пройти маршрут роботом MiR100 на складе с помощью радиоуправления. Ввиду отсутствия модели склада в симуляторе Webots она была позаимствована из симулятора Gazebo. Сцены между симуляторами несовместимы, однако оба симулятора поддерживают одинаковый формат моделей DAE. Небольшое количество объектов и возможность использования одинаковых моделей позволили быстро воссоздать сцену в симуляторе Webots. В качестве испытуемой модели робота была выбрана MiR100, поскольку она есть в обоих симуляторах, а также потому, что эта модель робота подходит для складских задач [11]. Грузоподъемность робота составляет 100 килограммов, размер погрузочной поверхности – 80 сантиметров в длину и 60 в ширину.

Прохождение маршрута роботом на радиоуправлении позволяет проверить его возможность маневрировать в ограниченном пространстве конкретного склада, не останавливая работу реального складского помещения. Складские роботы имеют разные системы колес, например, комбинации рулевых колес, системы с всенаправленными колесами [12], а в случае робота MiR100 это два приводных колеса и четыре поддерживающих, подобных коляске. Точность при симуляции данных комбинаций колес важна для тестирования, так как от нее зависит возможность аппарата маневрировать в узких пространствах [13].

Создание программы в симуляторе

В симуляторе Webots после импорта модели робота MiR100 при выборе модели сразу же появляется возможность управления с помощью клавиатуры или подключения своего модуля управления. В симуляторе Gazebo скачанная модель имела только устаревший алгоритм управления, без документации. Для решения проблемы модуль управления был установлен от робота TugBot, который поставлялся вместе со сценой склада. Робот также имеет 2 ведущих колеса и схожие с роботом MiR100 габариты. В алгоритме были указаны новые координаты колес и ссылки на объекты колес, после чего робот был готов к запуску.

В симуляторе Webots модули управления роботом, а также связи с объектами можно менять из интерфейса пользователя, в симуляторе Gazebo необходимо изменение кода сцены и перезапуск программы.

Чтобы сравнить симуляторы в действии, был построен следующий маршрут (рис. 3).

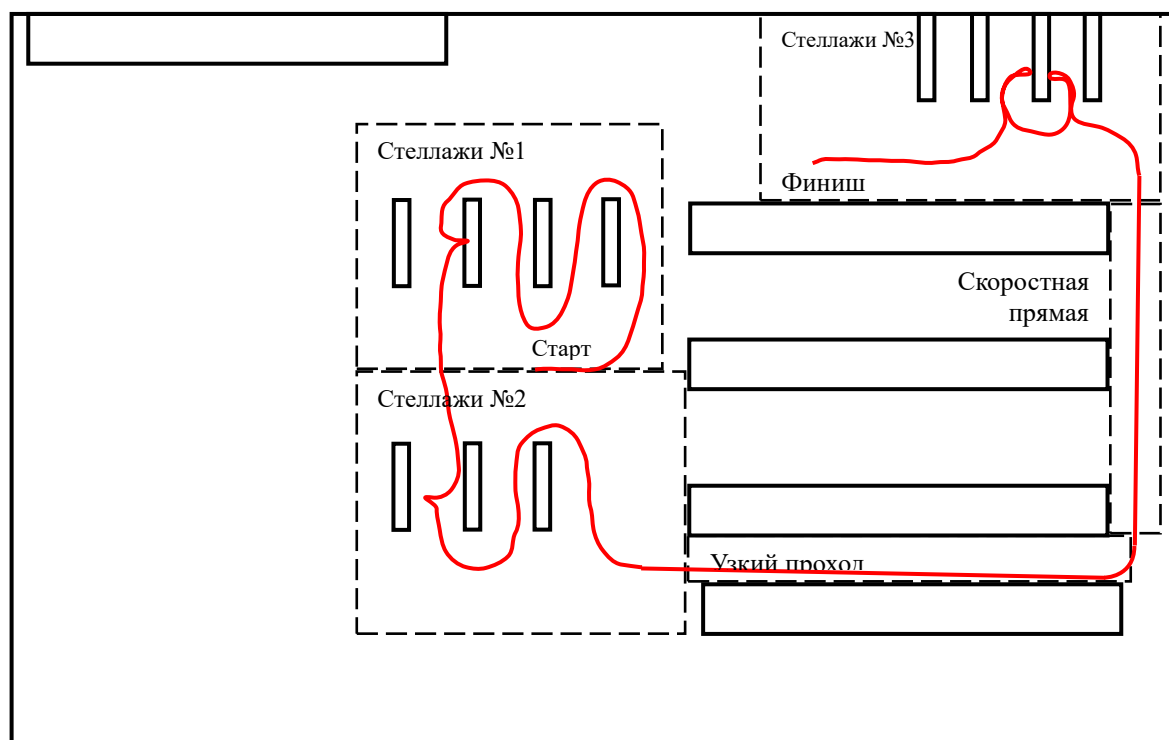


Рис. 3. Маршрут тестирования и схема симулятора

Fig. 3. Test route and simulator interface layout

Маршрут составлен таким образом, чтобы объехать стеллажи с разных сторон, а также заехать между стеллажами и встать перпендикулярно между ними, имитируя погрузку и загрузку. На длинных прямых проверяется устойчивость робота на максимальной скорости [14]. Длина маршрута составляет 126,1 метра при размерах склада 50 метров в длину и 30 метров в ширину. Расстояние между стеллажами варьирует в пределах от 2,5 метра до 2 метров. Самое узкое расстояние для проезда, когда необходимо маневрировать между стеллажами и опорами здания, составляет 1,1 метра. Маршрут поделен на 5 участков – стеллажи № 1, 2, узкий проход, скоростная прямая и стеллажи № 3 (рис. 3). Длина маршрута на данных участках составляет 37,7; 28,0; 18,7; 15,4 и 26,3 метра соответственно.

Процесс использования симулятора Gazebo состоит в редактировании файла проекта формата SDF, основанного на XML, а также отдельном редактировании кода модулей, их компиляции и периодическом запуске симулятора для проверки изменений. Симулятор не поддерживает загрузку изменений в реальном времени, за исключением изменения позиций существующих объектов или добавления примитивов.

Симулятор Webots позволяет применять изменения в коде проекта без перезапуска программы. Интерфейс позволяет изменять свойства всех объектов без необходимости редактировать код проекта напрямую, а также в интерфейс встроен редактор кода, имеющий возможность управления процессом компиляции. Симулятор тоже основан на использовании модулей, однако их привязка осуществляется напрямую из интерфейса, что значительно упрощает процесс программирования.

Во время подготовки сцены было замечено, что симулятор Gazebo периодически завершается с ошибкой, например, при попытке продублировать робота на сцену, а также в случайные моменты в процессе редактирования сцены. За симулятором Webots такого поведения замечено не было, а ошибки в конфигурации или коде выводятся во встроенную в интерфейс консоль и не приводят к завершению программы.

РЕЗУЛЬТАТ СИМУЛЯЦИИ

Маршрут был пройден три раза в каждом симуляторе, управление осуществлял один и тот же человек. Был произведен замер времени прохождения как маршрута целиком, так и отдельных участков.

Таблица 2. Время прохождения участков маршрута

Table 2. Travel times for specific route sections

Симулятор	Стеллажи № 1 (с)	Стеллажи № 2 (с)	Узкий проход (с)	Скоростная прямая (с)	Стеллажи № 3 (с)	Общее время (м:с)
Webots (попытка 1)	56	27	37	15	53	3:10
Webots (попытка 2)	56	34	20	15	42	2:49
Webots (попытка 3)	52	36	23	16	33	2:41
Gazebo (попытка 1)	59	46	20	16	40	3:02
Gazebo (попытка 2)	59	38	21	15	37	2:52
Gazebo (попытка 3)	55	36	22	18	28	2:41

В результате тестирования оба робота прошли маршрут практически одинаково. Не наблюдалось избыточной инерционности, дрожания и неустойчивости физики, типичных для более примитивных симуляторов. При столкновении с препятствиями роботы вели себя одинаково. В симуляторе Gazebo поддерживающие вращающиеся колеса у робота зафиксированы, в то время как в Webots они вращаются соответственно движению робота.

Во время испытаний выделяется склонность к обучению пользователя, об этом свидетельствует тот факт, что последующие попытки прохождения маршрута занимают меньше времени, чем предыдущие. Скачки в длительности поездки связаны со столкновением робота с препятствием при первой попытке прохождения, а именно: в симуляторе Webots в узком проходе и в симуляторе Gazebo в зоне стеллажей № 1.

Управление роботом в обоих симуляторах происходит разным образом. В симуляторе Webots нажатия на стрелки клавиатуры увеличивают или уменьшают интенсивность ввода, позволяя роботу двигаться на частичной скорости с шагом 10 %. В контексте испытания это полезно для плавного захода в поворот. В симуляторе Gazebo при управлении с клавиатуры робот принимает ввод от 0 до 100 %, без промежуточных шагов. Плюсом является скорость реагирования робота в таком режиме работы, так как клавиши не требуется нажимать несколько раз. В модуле управления есть режим плавного управления слайдерами, но тогда необходимо управлять мышкой, из-за чего отзывчивость будет еще меньше, чем в симуляторе Webots с плавным управлением с клавиатуры.

Важно отметить, что модуль управления с клавиатуры в симуляторе Webots очень легко перепрограммировать и доработать, так как функционал встроен в подключаемый модуль, в то время как аналогичный модуль в симуляторе Gazebo требует большего количества шагов для замены, так как это встроенный модуль. Также в симуляторе Webots выборочное управление двумя разными роботами реализовано через выделение роботов мышкой, а не через изменение строки с названием адреса, как это сделано в Gazebo. Выделение

мышкой требует меньшего количества взаимодействий, чем ввод адреса, таким образом в симуляторе Webots проще управлять несколькими роботами.

Скорость перемещения испытуемого робота в обоих симуляторах составляет 0,95 метра в секунду, скорость вращения – 17 градусов в секунду. Основным ограничивающим фактором при прохождении данного маршрута является скорость вращения робота, из-за чего есть необходимость уменьшать скорость движения при прохождении поворотов. Так как склад достаточно просторный для робота (ширина робота 0,6 метра, среднее расстояние между стеллажами 2,25 метра, самое узкое место на маршруте – 1,1 метра), управление им не вызывает затруднений. Во время испытаний самый узкий участок маршрута в 5 из 6 случаев был пройден без снижения скорости. Время прохождения маршрута и отдельных участков отличается незначительно, из чего можно сделать вывод, что оба метода управления (плавный в Webots и резкий в Gazebo) одинаково подходят для данного сценария.

Перед прохождением маршрута были опробованы разные режимы наблюдения за роботом, но наиболее удобным для данного сценария оказалась статическая камера. Симулятор Webots в режиме наблюдения за роботом позволяет свободно двигаться вокруг него, менять масштаб и угол наблюдения. В симуляторе есть три режима наблюдения – статичная вращающаяся камера, закрепленная к роботу камера и камера, перемещающаяся рядом, с фиксированным углом наблюдения. В симуляторе Gazebo есть похожие режимы, но они не позволяют менять масштаб, расстояние от объекта или ракурс наблюдения. Также в симуляторе Webots можно добавлять дополнительные камеры и наблюдать за ними параллельно основной, чего нельзя сделать из интерфейса Gazebo.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате тестирования роботов в обоих симуляторах маршрут был успешно пройден, маневренности роботов оказалось достаточно для совершения всех поворотов и разворотов. Траектория маневров роботов совпадает в обоих симуляторах, движение происходит плавно и предсказуемо. Несмотря на идентичный результат испытаний симулятор Webots показал себя лучше Gazebo в отношении удобства использования, стабильности и производительности. В отличие от Gazebo симулятор Webots поставляется со всеми необходимыми утилитами для создания сцены и написания программ, имеет более подробную документацию и более качественные модели роботов. Таким образом, из симуляторов роботов с открытым исходным кодом Webots лучше подходит для складского применения, чем Gazebo.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Подгорный А. С. Использование высокоадаптивных роботов для склада // Современные проблемы теории машин. 2025. № 19. С. 83–85. DOI: 10.26160/2307-342X-2025-19-83-85
2. Брылев А. А. Использование компьютерной симуляции для оценки рисков ошибок планирования и принятия решений при работе с масштабными проектами // Тенденции развития науки и образования. 2024. № 112-6. С. 162–164. DOI: 10.18411/trnio-08-2024-322
3. Чурилов А. Особенности распространения программ для ЭВМ на условиях открытых лицензий и лицензий программ с открытым исходным кодом // Интеллектуальная собственность. Авторское право и смежные права. 2018. № 3. С. 47–56. EDN: YQXRGK
4. Егорова Л. Г., Калинтаев А. Н., Логунова О. С., Панов Д. А. Имитационная модель работы робота-манипулятора Kuka youBot для укладки и выгрузки посылок // Вестник Череповецкого государственного университета. 2025. № 3(126). С. 17–27. DOI: 10.23859/1994-0637-2025-3-126-2
5. Байков Д. В., Егоров Д. С., Иншаков А. П. Имитационное моделирование автоматизированной системы управления складским помещением // Современные наукоемкие технологии. 2025. № 6. С. 8–14. DOI: 10.17513/snt.40416

6. Атрохов А. А., Колесников В. О., Изюмов А. И. Конструкторские решения мобильного робота для складской логистики транспортного предприятия // Актуальные проблемы науки и техники: материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 19–21 марта 2024 года. Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2024. С. 859–860. EDN: ENBKZD
7. Юневич Н. Г. Программное обеспечение с открытым исходным кодом в национальной политике мировых держав // Современные средства связи. 2022. Т. 1. № 1. С. 35–37. EDN: BGQRMU
8. Пикалев Я. С. Анализ существующих симуляторов робототехнических систем // Проблемы искусственного интеллекта. 2017. № 1(4). С. 51–65. EDN: YOJGTN
9. Lee J., Grey M. X., Ha S. et al. DART: Dynamic animation and robotics toolkit // Journal of Open Source Software. 2018. Vol. 3. No. 22. P. 500. DOI: 10.21105/joss.00500
10. Зуева Д. И. Исследование показателей производительности рендеринга трехмерной графики WebGL Three.js // Научно-технические инновации и веб-технологии. 2023. № 1. С. 64–69. EDN STAXQY
11. Ложкин В. А., Докичев Е. А., Моисеенко М. С. Проблематика проектирования ходовой части мобильного колесного сервисного робота // Extreme Robotics. 2025. № 1(36). С. 54–60. EDN: GCCQGV
12. Кремповский П. Р., Луцков Ю. И. Аналитический обзор оптимальных типов колес промышленного складского робота-телеги // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2021. № 6. С. 36–39. DOI: 10.24412/2071-6168-2021-6-36-39
13. Чэ М., Кулик А. А. Управление отслеживанием траектории колесного мобильного робота с учетом внешних возмущений // Математические методы в технологиях и технике. 2024. № 2. С. 92–98. EDN: EYVXYE
14. Мартыненко Ю. Г. Устойчивость стационарных движений мобильного робота с роликонесущими колесами и смещенным центром масс // Прикладная математика и механика. 2010. Т. 74. № 4. С. 610–619. EDN: MTIDLL

REFERENCES

1. Podgorniy A.S. Usage of highly adaptive robots for a warehouse. *Sovremennye problemy teorii mashin* [Modern Problems in the Theory of Machines]. 2025. No. 19. Pp. 83–85. DOI: 10.26160/2307-342X-2025-19-83-85. (In Russian)
2. Brylev A.A. Using computer simulation to assess the risks of planning and decision-making errors when working with large-scale projects. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya* [Trends in the Development of Science and Education]. 2024. No. 112-6. Pp. 162–164. DOI: 10.18411/trnio-08-2024-322. (In Russian)
3. Churilov A. Specificity of the distribution of computer programs under the terms of open licenses and open source software licenses. *Intellektual'naya sobstvennost'. Avtorskoe pravo i smezhnye prava* [Intellectual Property. Copyright and Neighboring Rights]. 2018. No. 3. Pp. 47–56. EDN: YQXRK. (In Russian)
4. Egorova L.G., Kalitaev A.N., Logunova O.S., Panov D.A. Simulation model of the KUKA YouBOT robotic manipulator for stacking and unloading parcels. *Cherepovets State University Bulletin*. 2025. No. 3(126). Pp. 17–27. DOI: 10.23859/1994-0637-2025-3-126-2. (In Russian)
5. Baykov D.V., Egorov D.S., Inshakov A.P. Simulation of an automated warehouse management system. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii* [Modern Science-Intensive Technologies]. 2025. No. 6. Pp. 8–14. DOI: 10.17513/snt.40416. (In Russian)
6. Atrokhov A.A., Kolesnikov V.Yu., Izumov A.I. Design solutions for a mobile robot for warehouse logistics of a transport company. *Aktual'nye Problemy Nauki I Tekhniki* [Current Problems of Science and Technology]. Proceedings of the All-Russian (National) Scientific and Practical Conference. 2024. Rostov-na-Dony: Donskoj gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet. Pp. 859–860. EDN: ENBKZD

7. Yunevich N.G. Open source software in the national politics of the world powers. *Sovremennye sredstva svyazi* [Modern Means of Communication]. 2022. Vol. 1. No. 1. Pp. 35–37. EDN: BGQRMU. (In Russian)
8. Pikalev Ya.S. Analysis of existing simulators for robotic systems. *Problems of Artificial Intelligence*. 2017. No. 1(4). Pp. 51–65. EDN: YOJGTN. (In Russian)
9. Lee J., Grey M.X., Ha S. et al. DART: Dynamic animation and robotics toolkit. *Journal of Open Source Software*. 2018. Vol. 3. No. 22. P. 500. DOI: 10.21105/joss.00500
10. Zueva D.I. Research of performance indicators for rendering three-dimensional graphics webgl three.js. *Nauchno-tekhnicheskie innovatsii i veb-tehnologii* [Scientific and Technical Innovations and Web Technologies]. 2023. No. 1. Pp. 64–69. EDN: STAXQY. (In Russian)
11. Lozhkin V.A., Dokichev E.A., Moiseenko M.S. The problems of designing the undercarriage of a mobile wheeled service robot. *Extreme Robotics*. 2025. No. 1(36). Pp. 54–60. EDN: GCCQGV. (In Russian)
12. Krempovskiy P.R., Lutskov Yu.I. Analytical review of the optimal types of wheels of the industrial warehouse robot trolley. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. 2021. No. 6. Pp. 36–39. DOI: 10.24412/2071-6168-2021-6-36-39. (In Russian)
13. Che M., Kulik A.A. Trajectory tracking control of wheeled mobile robot considering external interference. *Mathematical Methods in Technologies and Technics*. 2024. No. 2. Pp. 92–98. EDN: EYVXYE. (In Russian)
14. Martynenko Y.G. Stability of steady motions of a mobile robot with roller-carrying wheels and a displaced centre of mass. *Journal of Applied Mathematics and Mechanics*. 2010. Vol. 74. No. 4. Pp. 436–442. DOI: 10.1016/j.jappmathmech.2010.09.009

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторах

Подгорный Александр Сергеевич, аспирант, главный специалист, РН-Технологии;
119607, Россия, Москва, Раменский бульвар, 1;
scaled@scaledteam.ru

Мунасыпов Рустэм Анварович, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой автоматизации технологических процессов (АТП), Уфимский университет науки и технологий;
450076, Россия, г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32;
rust40@mail.ru, SPIN-код: 1949-7757

Information about the authors

Aleksandr S. Podgorniy, Postgraduate Student, Chief Specialist, RN-Technologies;
1, Ramenskiy boulevard, Moscow, 119607, Russia;
scaled@scaledteam.ru

Rustem A. Munasyrov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Process Automation, Ufa University of Science and Technology;
32, Zaki Validi street, Ufa, 450076, Russia;
rust40@mail.ru, SPIN-code: 1949-7757