

## РАЗРАБОТКА И ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ НАВИГАЦИИ РОБОТА PATROLBOT

Д.А. Маркова

Аспирант группы А23-502 НИЯУ МИФИ, destromo@yandex.ru

*Аннотация.* Статья посвящена разработке трехмерной модели второго этажа НИЯУ МИФИ для проверки алгоритмов навигации автономного робота PatrolBot. Модель, созданная в Blender3D и экспортированная в Gazebo, позволяет имитировать реальные условия эксплуатации робота, что важно для точности испытаний и отладки систем управления. Основные этапы включают детализацию модели с использованием текстур и визуальных элементов, а также последующие испытания в симуляционной среде для оценки функциональных возможностей и корректности алгоритмов. Результаты подтверждают эффективность использования виртуальной модели для предварительных тестов, снижая риски и затраты на эксперименты с реальными роботами.

*Ключевые слова:* трехмерное моделирование, алгоритмы навигации, робототехника, симуляционная среда, Blender3D, Gazebo, ROS (Robot Operating System).

### Введение

В современном мире робототехника проникает во все сферы жизни, от промышленности до быта, что делает разработку интеллектуальных систем управления (ИСУ) актуальной научно-инженерной задачей. Основной проблемой при разработке ИСУ является необходимость их тестирования, которое, если проводить его на реальных роботах, становится крайне затратным и трудоемким. Это обуславливает поиск альтернативных методов отладки.

Применение симуляционных платформ типа Gazebo и ROS в разработке алгоритмов для управления автономными роботами стало ключевым моментом в современной робототехнике. Эти инструменты предоставляют возможность проводить тесты в полностью контролируемой среде, что позволяет ученым и инженерам проводить обширное тестирование без риска для оборудования и существенного увеличения затрат. Симуляции также ускоряют процесс разработки, поскольку они позволяют моделировать разнообразные операционные сценарии и немедленно оценивать результаты изменений в алгоритмах.

В данной работе предлагается методика отладки ИСУ на трехмерной модели, что позволяет значительно снизить затраты и ускорить процесс разработки. Разработка была поделена на следующие этапы:

- 1) Моделирование работы робота – виртуальное тестирование алгоритма на разработанной модели;
- 2) Создание трехмерной модели среды – в данном случае второго этажа НИЯУ МИФИ;

- 3) Разработка и интеграция алгоритма управления – создание и внедрение алгоритмов навигации и взаимодействия с препятствиями.

Проверка адекватности и эффективности методики была проведена на основе ряда тестов, симулирующих реальные условия работы мобильного робота. Результаты подтвердили, что предложенный подход позволяет не только адекватно оценить работоспособность ИСУ, но и выявить потенциальные недостатки алгоритма до его реализации в натуральных условиях.

### **Теоретическое обоснование проблемы**

В последние годы значительные исследования были сосредоточены на развитии и интеграции робототехнических систем в различные сферы, включая область образования и научных исследований. Особое внимание уделяется разработке и моделированию роботизированных систем с использованием таких инструментов, как ROS (Robot Operating System) и Gazebo. Разработанные по такой технологии роботы используются для различных целей. Ниже приведены примеры таких роботизированных систем.

1. Управления роботами поисково-спасательной службы (SAR) в условиях, где инфраструктура связи может быть полностью уничтожена [1]. В работе представлена коммуникационная архитектура, основанная на технологии LoRa LPWAN.

2. Моделирование, симуляция и управление роботизированным манипулятором [2]. Автор описывает применение математического моделирования и программного обеспечения, такого как MATLAB и Simulink, для анализа и контроля роботизированной системы. Что подчеркивает значимость теоретических основ мехатроники и автоматического управления в робототехнике, а также их роль в образовательных программах по ИТ.

3. Автономная навигация лесного робота с использованием сканирующего лазера [3]. Рассматривается проект Innovative Forest Plantation, направленный на автоматизацию задач ухода за лесными насаждениями. Исследование фокусируется на автономной навигации с использованием SLAM для эффективного перемещения робота в полуструктурированной среде, где традиционные методы локализации, такие как GPS, неэффективны. Использование ROS и Gazebo в этом контексте подчеркивает их важность для разработки и тестирования сложных систем автономной навигации.

Данные примеры явно демонстрируют, что совместное применение ROS и Gazebo достаточно эффективно и протестировано множеством авторов. Таким образом можно сделать вывод, что эту совокупность технологий следует использовать для моделирования разрабатываемой системы автономной навигации.

## Описание проекта PatrolBot

ROS и Gazebo представляют собой технологии в современной робототехнике, которые существенно помогают и облегчают процесс разработки, тестирования и внедрение роботизированных систем.

ROS представляет собой гибкую фреймворк-платформу для написания программного обеспечения для роботов. Он включает в себя набор инструментов, библиотек и соглашений, которые призваны упростить задачу создания сложного и надежного поведения роботов в различных средах [4]. ROS предоставляет инструменты визуализации (например, RViz) и отладки.

Gazebo предлагает среду для симуляции, которая точно имитирует физические и визуальные аспекты роботизированных систем в трехмерной среде. Среда идеально интегрируется с ROS, что было рассмотрено выше на примере работ других авторов [5].

Использование ROS и Gazebo существенно облегчит интеграцию алгоритмов искусственного интеллекта и машинного обучения при разработке ИСУ для многих вариантов интеллектуальных робототехнических комплексов (ИРТК).

На первом этапе необходимо было создать модель робота. В процессе создания в Blender3D первоначально был выбран примитив "конус" для формирования основы корпуса робота. Эта базовая форма была модифицирована, были изменены её размеры и пропорции, чтобы точно соответствовать дизайну и функциональным особенностям реального корпуса PatrolBot. Далее, для создания колес робота был использован примитив "цилиндр", который подвергся аналогичной детализации. Размеры и форма цилиндра были изменены, а также были добавлены дополнительные элементы, включая обод и шину, для придания колесам более реалистичного вида. Кроме того, были тщательно подобраны и настроены материалы и текстуры, чтобы добиться максимальной визуальной точности (рис. 1).

В процессе моделирования также были созданы лидары и камера робота, используя подходы, аналогичные разработке корпуса и колес. Для лидаров применялся примитив "цилиндр", который затем детализировался с добавлением элементов, имитирующих сканер, а для камеры использовался примитив "куб", который преобразовывался для достижения реалистичной формы корпуса камеры и объектива. Создание бамперов включало использование комбинации примитивов "куб" и "цилиндр", которые были адаптированы для воссоздания физической структуры бамперов робота. Все элементы были объединены в единую модель с учетом их взаимного расположения и взаимодействия, используя инструменты Blender3D, такие как "родительские связи" и "ограничения".

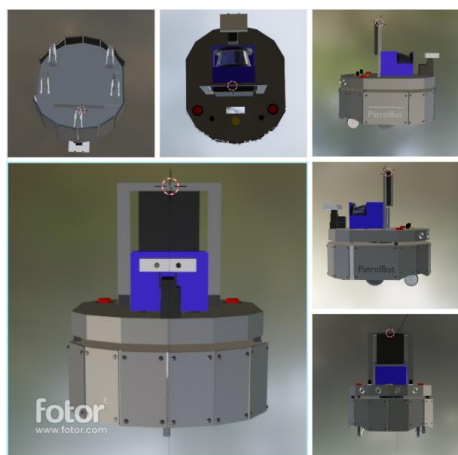


Рисунок 1 – Модель PatrolBot.



Рисунок 2 – Модель коридора второго этажа НИЯУ МИФИ.

После создания и детализации всех компонентов модели был создан набор текстур для корпуса, колес и дополнительных деталей, используя различные методы, такие как текстурный рисунок, шум и карты окружения, чтобы улучшить визуальное качество модели. Затем модель была экспортирована в формат URDF с использованием специального плагина для последующего использования в симуляторе Gazebo.

### Создание модели второго этажа НИЯУ МИФИ

Для отладки интеллектуальной системы управления (ИСУ) предложено использовать трехмерную модель второго этажа НИЯУ МИФИ, созданную в Blender3D и экспортированную в формате SDF для симуляций в Gazebo (рис. 2). Процесс разработки модели включал итерации детализации, в ходе которых добавлялись текстуры, цвета и другие визуальные атрибуты для достижения высокой степени реалистичности виртуальной среды.

В начале процесса моделирования второго этажа НИЯУ МИФИ в Blender3D были выполнены точные измерения с использованием лазерного дальномера. С помощью лазерного дальномера Bosch и соответствующего программного обеспечения были измерены размеры помещения, включая длину стен, высоту потолков и ширину дверных проемов. Эти данные стали основой для последующего моделирования в Blender3D.

В рамках данного исследования была предложена методика создания трехмерной модели для имитационного тестирования алгоритмов навигации автономного робота. Инициация проекта началась с создания первоначальной грубой модели второго этажа в программе Blender3D. Используя базовые геометрические фигуры, такие как кубы и плоскости, было выполнено приблизительное моделирование форм и размеров помещений.

Для повышения степени детализации модели, к первоначальной конструкции были добавлены дополнительные элементы: текстуры, цвета, материалы и другие визуальные детали, что позволило воссоздать реалистичное представление интерьера второго этажа (рис. 3). Каждый этап моделирования был направлен на максимальное приближение виртуальной среды к реальным условиям, что является критически важным для точности последующих испытаний алгоритмов навигации.

После завершения этапа детализации, модель была экспортирована в формат SDF (Simulation Description Format) при помощи специализированного плагина, что обеспечило совместимость с симулятором Gazebo. Экспериментально было проверено, что данная модель может быть успешно использована для симуляции работы мобильного робота.

После транспортировки модели в симулятор Gazebo было проведено экспериментальное тестирование (рис. 4). Этот этап включал проверку поведения мобильного робота в моделированной среде, анализ возможных коллизий и другие тесты для оценки корректности и реалистичности симуляции. Обнаруженные в ходе тестирования несоответствия или ошибки требовали возвращения модели в Blender3D для доработки, после чего обновленная версия модели повторно экспортировалась в Gazebo для дальнейшего тестирования.

Каждый этап разработки и тестирования подкреплялся документированием результатов, что позволяло систематически настраивать параметры и улучшать качество виртуальной среды, а также повышать точность алгоритмов навигации ИСУ. Результаты экспериментов подтвердили эффективность предложенной методики.



Рисунок 3 – Модель лаборатории «Робототехника» (В-208).

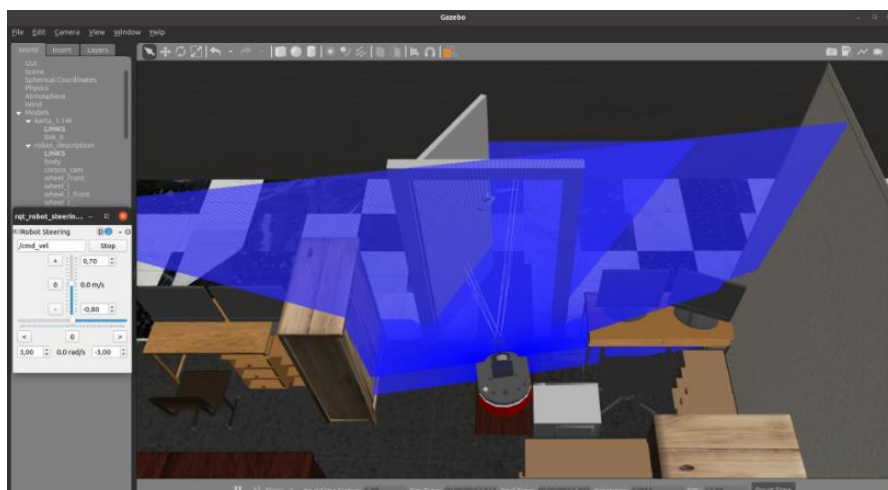


Рисунок 4 – Тестирование готовых моделей в ROS и Gazebo.

## Заключение

Разработанная трехмерная модель среды позволила выполнить проверку алгоритмов навигации автономного робота PatrolBot. Модель, созданная в Blender3D и экспортированная в Gazebo, позволила имитировать реальные условия эксплуатации робота и повысить качество отладки систем управления. Полученные результаты подтвердили эффективность использования виртуальной модели для предварительного тестирования ИСУ, снизить затраты на эксперименты с реальными роботами.

## Список литературы

1. Ben Abdallah, F., Bouali, A., Meausoone, P.-J. Autonomous Navigation of a Forestry Robot Equipped with a Scanning Laser // *AgriEngineering*, 2023, V. 5, № 1, pp. 1-11.
2. Удивительная техника. – М.: Эксмо, Наше слово, 2016. – 176 с.
3. Тывес Л. И. Механизмы робототехники. Концепция развязок в кинематике, динамике и планировании движений. – М.: Ленанд, 2014. – 208 с.
4. Винницкий Ю.А., Поляков К.Ю. Конструируем роботов на ScratchDuino. Первые шаги. – М.: Мир, 2016. – 183 с.
5. Мобильные роботы: робот-колесо и робот-шар. Под ред. Борисова А.В., Мамаева И.С., Караваева Ю.Л. – М.: Гостехиздат, 2013. – 532 с.