

УДК 65.011.56

doi:10.18720/SPBPU/2/id25-293

Гаургов Сергей Сергеевич*, Копан Андрей Александрович
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
**sergeygaurgov@gmail.com*

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКИХ МАРШРУТОВ БЕСПИЛОТНЫХ РОБОТОВ AGV В 3D-СИМУЛЯТОРЕ GAZEBO

Аннотация. В современных производственных системах беспилотные роботы AGV (Automated Guided Vehicle) сталкиваются с проблемой неэффективных и пересекающихся маршрутов, что снижает производительность и увеличивает затраты. В данной работе представлено решение этой проблемы с помощью 3D-симулятора Gazebo, позволяющего проектировать и тестировать логистические маршруты, исключая необходимость дорогостоящих физических испытаний. Основные задачи исследования включали валидацию маршрутов, настройку алгоритмов навигации на основе технического зрения и лидаров, а также расчет необходимого количества роботов. В результате была разработана имитационная модель, которая продемонстрировала возможность эффективного управления движением AGV, тестирования приоритизации на пересекающихся участках и подбора необходимого числа транспортных средств. Использование Gazebo в качестве цифрового полигона подтвердило свою практическую ценность, обеспечив значительное сокращение издержек и повышение гибкости производственных процессов.

Ключевые слова: 3D-моделирование, автоматизация логистики, беспилотные роботы, симуляция.

Sergey S. Gaurgov*, Andrey A. Kopan
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
**sergeygaurgov@gmail.com*

DESIGNING LOGISTICS ROUTES FOR UNMANNED AGV ROBOTS IN THE GAZEBO 3D SIMULATOR

Abstract. In modern production systems, autonomous mobile robots (AGVs) face the challenge of inefficient and intersecting routes, which reduces productivity and increases costs. This study presents a solution using the Gazebo 3D simulator to optimize AGV logistics routes, minimize downtime, and eliminate the need for costly physical testing. The research focused on route validation, vision-based and LiDAR navigation algorithms, and determining the optimal number of robots. The developed simulation model demonstrated effective AGV traffic management, priority testing at intersections, and optimal fleet sizing. Using Gazebo as a digital testbed proved highly practical, significantly reducing costs and enhancing production flexibility while providing a reliable platform for logistics optimization.

Keywords: 3D modeling, logistics automation, unmanned robots, simulation.

Введение

Современные производственные системы активно внедряют технологии Индустрии 4.0, среди которых автоматизированные транспортные средства (AGV) занимают ключевое место в логистике предприятий [1,2]. Эти беспилотные роботы существенно повышают эффективность перемещения ресурсов, однако их широкое применение сталкивается с рядом проблем, связанных с проектированием маршрутов в сложных производственных условиях [3].

Актуальность данной работы обусловлена следующими ключевыми проблемами:

1. Сложность определения необходимого количества роботов для конкретных производственных задач;
2. Высокие затраты на физические испытания и настройку оборудования;
3. Пересечения маршрутов, отсутствие принципа приоритизации движения, заторы, не позволяющие удовлетворить тактам производства.

Особую значимость приобретает использование современных инструментов цифрового моделирования, таких как симулятор Gazebo, позволяющих решать эти задачи в виртуальной среде[4,5]. Gazebo предоставляет уникальные возможности для:

1. Точного моделирования динамики роботов;
2. Тестирования алгоритмов технического зрения и лидарных систем;
3. Валидации логистических сценариев до их внедрения в производство.

Целью данного исследования является разработка и апробация методики проектирования маршрутов AGV с использованием возможностей симулятора Gazebo, что позволит существенно повысить эффективность логистических процессов на промышленных предприятиях.

Результаты

Созданная модель, показанная на рисунке 1, доказала ценность Gazebo как инструмента для решения сложных задач планирования логистических операций. Симулятор стал ключевым элементом исследования, предоставив возможность прорабатывать различные сценарии движения AGV в контролируемых виртуальных условиях. Благодаря физически точному моделированию удалось выявить и устранить потенциальные проблемы маршрутизации, которые в реальных условиях потребовали бы значительных временных и материальных затрат.

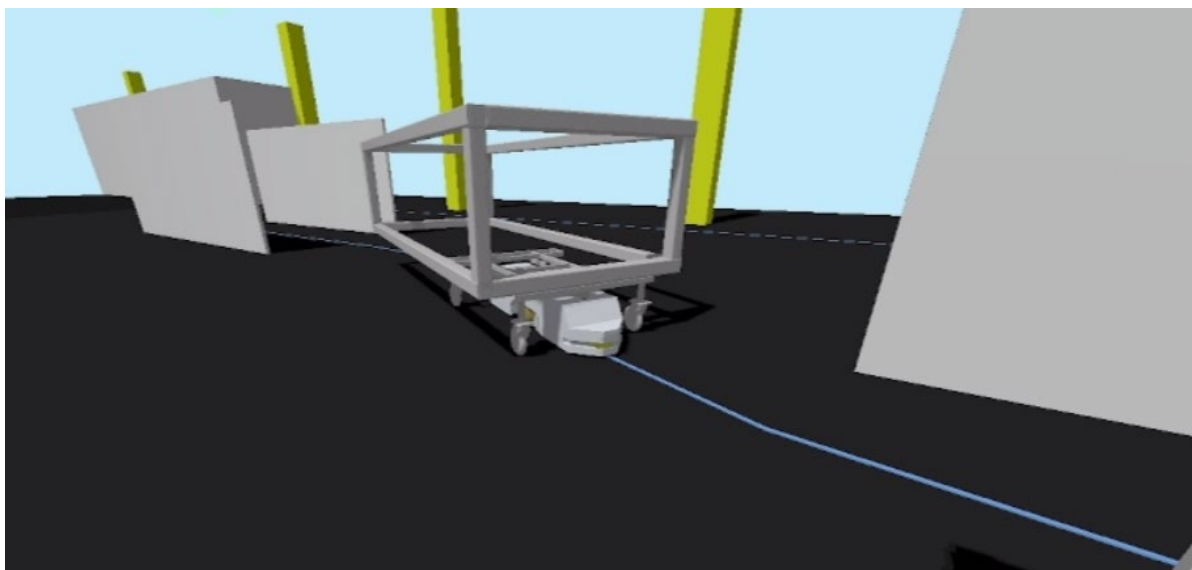


Рисунок 1 – Симуляционная модель маршрута AGV

Особенно ценным оказалась возможность тестировать различные алгоритмы навигации, включая системы технического зрения, что продемонстрировано на рисунке 2, и лидарного сканирования, в условиях, максимально приближенных к реальным. Это дало понимание того, как будут вести себя роботы при различных производственных сценариях, еще до развертывания системы на предприятии.

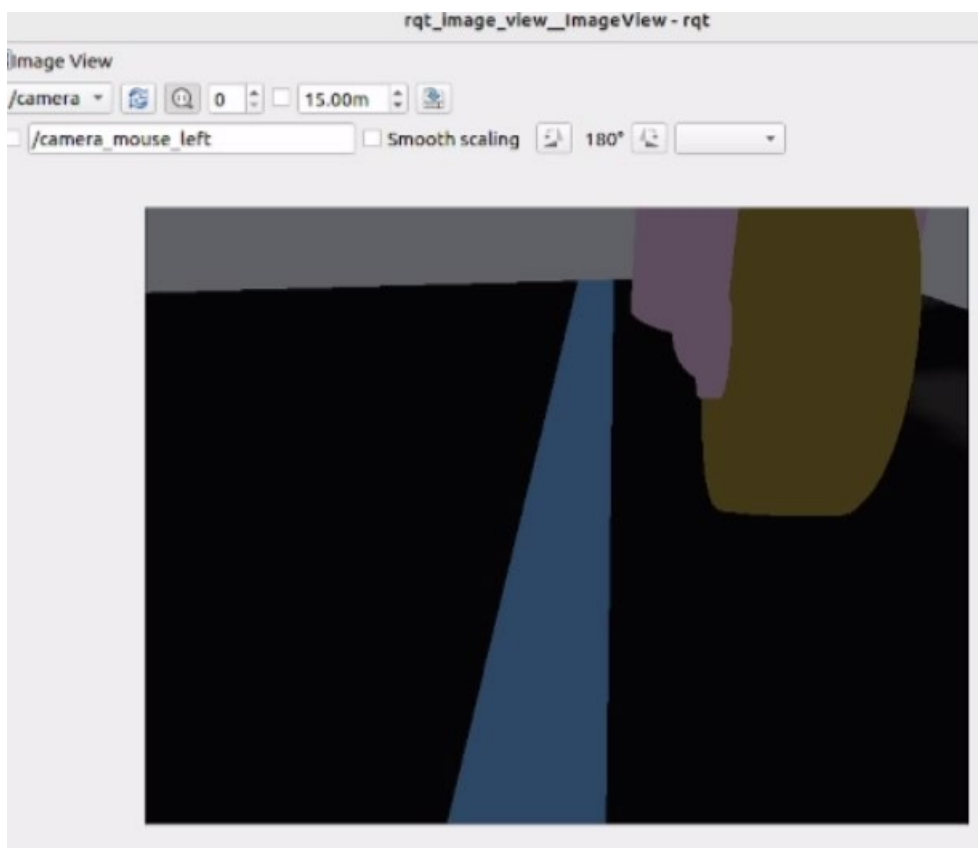


Рисунок 2 – Навигация по цветной ленте системой технического зрения

Использование Gazebo позволило разработать итерационную методику подбора оптимального количества AGV для заданных производственных тактов. Последовательно увеличивая число роботов в симуляции, можно определить момент, когда добавление нового AGV перестает повышать эффективность и начинает создавать заторы.

Симулятор наглядно показал, как ведут себя роботы в критических точках маршрутов – местах пересечений и зонах погрузки/разгрузки. Это позволило найти баланс между количеством AGV и пропускной способностью системы, обеспечив бесперебойную доставку ресурсов без избыточного простоя оборудования.

Особое внимание уделялось синхронизации AGV с автоматизированными системами цеха. В симуляции можно отрабатывать ситуации, когда робот должен точно позиционироваться у конвейера или толкателя, учитывая временные задержки в работе датчиков.

Заключение

Данное исследование демонстрирует, что Gazebo служит эффективной платформой для комплексного моделирования работы AGV в производственных условиях. Симулятор обеспечивает возможность одновременной отработки следующих ключевых аспектов: итерационный подбор необходимого количества роботов, настройки их взаимодействия с производственным оборудованием. Одновременно с этим отрабатываются алгоритмы навигации – Gazebo воспроизводит работу лидаров и систем технического зрения в условиях, приближенных к реальным, включая сложные сценарии с помехами на пересеченных участках маршрутов.

Ключевое преимущество подхода – возможность тестировать различные сценарии нагрузки системы и синхронизировать работу AGV с производственными циклами до внедрения в реальных условиях. Это позволяет перейти от эмпирических оценок к точному расчету необходимого парка роботов для конкретного производства.

Такой подход значительно сокращает сроки внедрения AGV на производстве, минимизирует риски и обеспечивает плавную интеграцию роботов в существующие технологические процессы.

Перспективным данный способ симуляции может сделать автоматизированная генерация цифровых моделей производственных помещений для Gazebo на основе данных BIM/CAD и сканирования, что в несколько раз бы ускорило моделирование производственных систем.

Библиографический список

1. Яковлева Елена Анатольевна, Моторкин Антон Сергеевич, Капустин Даниил Русланович ВЫБОР СИСТЕМЫ РОБОТИЗИРОВАННОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ НА ПРОИЗВОДСТВЕ // SAEC. 2023. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vybor-sistemy-robotizirovannoy-avtomatizatsii-protsessov-na-proizvodstve> (дата обращения: 02.05.2025).
2. Климов А. А., Куприяновский В. П., Аленков В. В., Анисимов К. О., Володин А. Б., Куприяновская Ю. В. Умные технологии в портах и в судоходстве, как связанные цифровые двойники берега и судна в мультимодальном окружении // International Journal of Open Information Technologies. 2020. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/umnye-tehnologii-v-portah-i-v-sudohodstve-kak-svyazannye-tsifrovye-dvoyniki-berega-i-sudna-v-multimodalnom-okruzhenii> (дата обращения: 02.05.2025).
3. Королев Антон Сергеевич, Рязанов Денис Валерьевич СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ОСМЫСЛЕНИЮ ПОНЯТИЯ АВТОНОМНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ // International Journal of Open Information Technologies. 2022. №12. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-podhody-k-osmysleniyu-ponyatiya-avtonomnosti-tehnicheskikh-sistem> (дата обращения: 02.05.2025).
4. Анчеков Мурат Инусович, Лешкенов Аслан Мухамедович Система виртуального моделирования робототехнических систем сельскохозяйственного назначения // Известия КБНЦ РАН. 2023. №6 (116). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-virtualnogo-modelirovaniya-robototekhnicheskikh-sistem-selskohozyaystvennogo-naznacheniya> (дата обращения: 02.05.2025).
5. Ровбо М. А., Овсянникова Е. Е., Чумаченко А. А. Обзор средств имитационного моделирования коллективов роботов с элементами социальной организации // Программные продукты и системы. 2017. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-sredstv-imitatsionnogo-modelirovaniya-kollektivov-robotov-s-elementami-sotsialnoy-organizatsii> (дата обращения: 02.05.2025).

УДК 004.891

doi:10.18720/SPBPU/2/id25-294

Белоусова Виктория Вадимовна, Бурнашев Рустам Арифович*

Казанский (Приволжский) федеральный университет

r.burnashev@inbox.ru*ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ
ВРАЧЕБНЫХ РЕШЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ**

Аннотация. Статья посвящена разработке системы поддержки принятия врачебных решений (СППВР) с применением методов нечеткой логики для повышения точности диагностики в условиях неопределенности медицинских данных. Актуальность исследования обусловлена необходимостью минимизации диагностических ошибок при работе с