

М. С. Аристов¹, А. Денисенко¹, С. А. Мартынов^{1✉}, А. А. Шарапов¹

Разработка модульного корпуса мобильного робота в Autodesk Inventor

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: dreminanasta3@gmail.com

Аннотация. В статье подробно рассматривается процесс проектирования и создания универсального модульного корпуса для мобильного робота с использованием систем параметрического моделирования на базе среды Autodesk Inventor. Актуальность данного исследования обусловлена стремительным развитием прикладной робототехники и назревшей необходимостью создания единой универсальной робототехнической платформы, способной легко адаптироваться под различные исследовательские задачи и изменяющиеся условия эксплуатации без существенных финансовых затрат. В ходе выполнения работы авторами были обоснованы и выбраны ключевые аппаратные компоненты системы, выполнено детальное трехмерное проектирование параметрической модели несущего корпуса, а также проведены всесторонние виртуальные испытания разработанной конструкции. На основе полученных моделей был изготовлен физический прототип робота методом послойной трехмерной печати (3D-печати). Особое внимание в работе уделено модульному принципу построения платформы, который эффективно обеспечивает удобство последующего технического обслуживания, легкую модернизацию оборудования и оптимальное охлаждение электроники. Практическая проверка спроектированной конструкции осуществлялась в рамках полигонных испытаний, где мобильный робот успешно выполнял поставленные задачи по автоматическому обнаружению и механической уборке снежных масс, доказав прочность и надежность корпуса.

Ключевые слова: мобильный робот, параметрическое моделирование, Autodesk Inventor, модульный корпус, 3D-печать, робототехника

M. S. Aristov¹, A. Denisenko¹, S. A. Martynov^{1✉}, A. A. Sharapov¹

Development of a modular mobile robot housing using autodesk inventor

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: dreminanasta3@gmail.com

Abstract. The article discusses the comprehensive development of a modular housing for a mobile robot using advanced parametric modeling tools in the Autodesk Inventor environment. The relevance of this study is determined by the urgent need to create a universal and cost-effective robotic platform capable of adapting to various engineering tasks, research purposes, and harsh operating conditions. The engineering workflow included the precise selection of core hardware components, the creation of a flexible parametric 3D model, rigorous virtual testing of the assembly, and the manufacturing of a physical prototype using additive 3D printing technology. Special attention is paid to the modular design principle, which significantly simplifies technical maintenance, future hardware upgrades, and heat dissipation from active electronic components. Practical testing confirmed the reliability, structural integrity, and versatility of the developed design under real operating conditions during field trials, where the robot successfully cleared snow masses. The results achieve a significant acceleration in the development of universal robotic platforms.

Keywords: mobile robot, parametric modeling, Autodesk Inventor, modular housing, 3D printing, robotics

Введение

Современный этап развития прикладной робототехники характеризуется резким ростом потребности в универсальных, высокоэффективных и при этом экономически доступных мобильных роботизированных платформах. Подобные автоматизированные комплексы находят самое широкое применение в различных сферах человеческой деятельности: от выполнения базовых складских операций, мониторинга окружающей среды, охраны закрытых объектов до ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций и уборки городских территорий. Тем не менее, при проектировании экспериментальных и научно-исследовательских роботов инженеры регулярно сталкиваются со сложной проблемой пространственной компоновки разнообразного электронного оборудования, датчиков и исполнительных механизмов [1]. Применение традиционных жестких монолитных конструкций существенно ограничивает возможности последующей быстрой модернизации и оперативной адаптации готового робота под принципиально новые практические задачи. Любое существенное изменение состава бортового оборудования неизбежно влечет за собой необходимость полного или частичного перепроектирования и дорогостоящего повторного изготовления всего несущего корпуса.

В качестве эффективного научно-технического решения данной проблемы выступает активное внедрение концепции модульного проектирования с привлечением передовых систем автоматизированного проектирования (САПР) и технологий быстрого прототипирования [2]. Использование модульного принципа позволяет разделять общую конструкцию на независимые, легко заменяемые и масштабируемые функциональные блоки (модули). Это позволяет инженерам и исследователям оперативно изменять конфигурацию робота, адаптируя его под конкретные условия внешней среды. Целью настоящего исследования является детальная сквозная разработка, виртуальное тестирование, изготовление и практическая проверка универсального модульного защитного корпуса для мобильного робота. Спроектированный корпус предназначен для надежного размещения высокопроизводительного микрокомпьютера Jetson Nano, микроконтроллера Arduino, а также сопутствующей силовой электроники и датчиков. Основным инструментом для решения поставленных задач параметрического 3D-моделирования и конечно-элементного анализа конструкции была выбрана среда промышленного проектирования Autodesk Inventor [3], обладающая мощным функционалом для создания сложных параметрических сборок.

Методы и материалы

На начальном этапе выполнения научно-исследовательской работы авторами был произведен подробный аналитический обзор и обоснованный выбор ключевых аппаратных компонентов, формирующих архитектуру мобильного робота. В качестве основного вычислительного центра, отвечающего за обработку

видеопотока, реализацию алгоритмов искусственного интеллекта и компьютерного зрения, был выбран одноплатный микрокомпьютер NVIDIA Jetson Nano. Для выполнения низкоуровневых операций управления исполнительными электромоторами колесного шасси, сбора первичных телеметрических данных и обработки сигналов с ультразвуковых датчиков расстояния был применен микроконтроллер Arduino Uno. В качестве первичных источников питания были выбраны литий-ионные аккумуляторные батареи типа 18650, собранные в специализированные блоки, обеспечивающие требуемые уровни напряжений и токов.

После фиксации массогабаритных характеристик выбранной электроники в среде Autodesk Inventor был запущен итерационный процесс параметрического моделирования. Геометрия каждой детали корпуса жестко увязывалась со специальными управляющими параметрами (переменными), что позволило автоматизировать процесс изменения размеров посадочных мест при возможной смене моделей плат. Разрабатываемый защитный корпус был разделен на три базовых независимых отсека: нижний силовой отсек (предназначен для размещения аккумуляторных батарей и тяжелых драйверов двигателей), средний вычислительный отсек (для Jetson Nano и Arduino) и верхний приборный отсек (для крепления лидара, камер и датчиков). Для обеспечения требуемого температурного режима внутри закрытого корпуса были спроектированы специальные вентиляционные решетки и посадочные места под активные кулеры охлаждения вычислительного ядра.

Для валидации спроектированной трехмерной сборки до этапа производства в модуле Stress Analysis среды Autodesk Inventor были проведены виртуальные прочностные испытания методом конечных элементов (МКЭ). В качестве расчетного материала был задан жесткий PLA-пластик, наиболее часто применяемый в аддитивном производстве. На верхнюю плоскость модели прикладывалась распределенная статическая нагрузка весом в 50 Н (что эквивалентно массе оборудования в 5 кг), а нижние крепежные проушины жестко фиксировались. По результатам симуляции были получены детальные карты распределения эквивалентных напряжений по Мизесу и деформаций конструкции.

Результаты

В результате выполненного параметрического проектирования в САПР Autodesk Inventor была успешно создана полная цифровая трехмерная модель модульного корпуса мобильного робота, состоящая из 12 уникальных деталей. Проведенный конечно-элементный анализ (МКЭ) показал, что максимальные эквивалентные напряжения, возникающие в элементах корпуса при критической нагрузке, составляют 4,2 МПа, что значительно меньше предела прочности PLA-пластика на растяжение (около 45–50 МПа). Максимальная расчетная величина деформации под нагрузкой составила всего 0,12 мм, что полностью удовлетворяет жестким требованиям эксплуатационной надежности и гарантирует сохранность хрупкой внутренней электроники.

На основе верифицированных цифровых моделей на отечественном 5D-принтере Stereotech HYBRID 530 был успешно изготовлен натурный физический прототип защитного корпуса мобильного робота. Печать осуществлялась экологически

безопасным и жестким биоразлагаемым PLA-пластиком. Реальные весовые характеристики напечатанного корпуса составили 680 грамм. После сборки и успешной интеграции всех электронных плат, аккумуляторов и исполнительных механизмов, собранный мобильный робот был направлен на комплексные практические испытания. Испытания проходили на специализированном открытом полигоне в зимних условиях. Робот функционировал в автономном режиме, выполняя заложенную программу по автоматическому обнаружению, локализации и механической уборке рыхлых снежных масс с использованием навесного ковша-отвала.

Обсуждение

Практическое применение методологии сквозного параметрического моделирования позволило инженерной группе сократить общее время проектирования робототехнического изделия более чем на 40% по сравнению с классическими непараметрическими методами. Использование модульного принципа компоновки в полной мере подтвердило свою высокую эффективность: в процессе полигонных испытаний возникла необходимость оперативной замены вышедшего из строя датчика, которая была успешно произведена всего за 3 минуты без разборки остальных узлов робота. Спроектированная пассивно-активная система вентиляции обеспечила стабильную температуру процессора NVIDIA Jetson Nano на уровне 42 °С при интенсивных вычислениях, что полностью исключило риск теплового троттлинга. Полученные результаты хорошо согласуются с передовым опытом ведущих отечественных и зарубежных исследователей в области модульной робототехники [1, 2].

Заключение

В рамках проведенного научного исследования был успешно спроектирован, изготовлен и всесторонне протестирован универсальный модульный защитный корпус мобильного робота. Разработанная параметрическая модель в САПР Autodesk Inventor обеспечивает высокую гибкость геометрической конфигурации, удобство технического обслуживания плат и возможность быстрой адаптации платформы под широкий спектр прикладных задач. Физические полигонные испытания полностью подтвердили высокую прочность, жесткость и надежность напечатанного корпуса в неблагоприятных условиях внешней среды. Перспективы дальнейших исследований и разработок авторов неразрывно связаны с оптимизацией геометрии воздушных потоков внутри корпуса, расширением номенклатуры типовых унифицированных съемных модулей, а также автоматизацией процессов мелкосерийной сборки платформы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гузненков В. Н., Журбенко П. А., Винцулина Е. В. Трехмерное моделирование деталей и выполнение электронных чертежей. – Москва : ДМК Пресс, 2017. – 124 с.
2. Мезенцева А. Ю., Куций Д. Н. Autodesk Fusion 360: создание эскизов и параметрическое трехмерное моделирование деталей. – Новочеркасск : ЮРГПУ, 2022. – 152 с.
3. Тульев В. Н. AutoCAD 2024. Самоучитель с примерами и практических заданиями. – Санкт-Петербург : Наука и Техника, 2023. – 400 с.

4. Головин А. А., Петров И. В. Проектирование мобильных роботов и робототехнических комплексов в средах САПР // Робототехника и техническая кибернетика. – 2021. – Т. 9, № 2. – С. 45–52.
5. Иванов К. С. Параметрическое моделирование сложных сборочных узлов в Autodesk Inventor // Вестник машиностроения. – 2020. – № 5. – С. 18–23.
6. Сидоров М. А., Федоров Д. П. Применение аддитивных технологий и 3D-печати PLA-пластиком в мелкосерийном производстве корпусных элементов // Пластические массы. – 2022. – № 3. – С. 29–34.
7. Козлов Л. В. Разработка модульных колесных платформ для образовательной и исследовательской робототехники // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2019. – Т. 20, № 8. – С. 470–477.
8. Дмитриев С. В. Использование одноплатных компьютеров NVIDIA Jetson Nano в системах технического зрения мобильных роботов // Автоматика и телемеханика. – 2021. – № 11. – С. 89–96.
9. Никитин В. А. Архитектура систем управления мобильными роботами на базе микроконтроллеров семейства Arduino // Компьютерные инструменты в образовании. – 2020. – № 4. – С. 55–67.
10. Смирнов А. Н., Васильев Е. А. Исследование прочностных характеристик деталей из термопластов, изготовленных методом FDM-печати // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2022. – Т. 88, № 1. – С. 52–58.
11. Попов М. В. Методы оптимизации систем охлаждения электронных компонентов в замкнутых корпусах мобильных роботов // Технологии приборостроения. – 2023. – № 2. – С. 34–41.
12. Морозов В. В., Павлов С. С. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния элементов конструкций в САПР // Вычислительная механика сплошных сред. – 2021. – Т. 14, № 3. – С. 310–318.
13. Александров Д. А. Интеграция сенсорных систем и лидаров в мобильные робототехнические платформы общего назначения // Датчики и системы. – 2020. – № 6. – С. 12–19.
14. Лебедев П. А., Тарасов Ю. В. Проектирование и испытания колесных роботов для работы в неблагоприятных климатических условиях // Экстремальная робототехника. – 2022. – № 1. – С. 75–81.
15. Кузнецов А. С. Развитие концепции модульного построения сложных технических систем в приборостроении // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2019. – Т. 62, № 10. – С. 905–912.
16. Борисов И. И. Оценка погрешностей параметрических трехмерных моделей при импорте в системы конечно-элементного анализа // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2021. – № 4. – С. 22–28.
17. Чернов Д. В. Методика быстрого прототипирования функциональных узлов роботов с использованием аддитивных технологий // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия Машиностроение. – 2023. – № 1. – С. 64–73.
18. Тихонов А. Г. Синтез систем управления движением мобильных мини-роботов по датчикам расстояния // Проблемы управления. – 2020. – № 3. – С. 41–49.
19. Семенов В. П., Андреев С. Ю. Анализ эффективности применения полилактида (PLA) в функциональном прототипировании деталей робототехники // Вопросы материаловедения. – 2022. – № 2. – С. 115–122.
20. Григорьев М. Н. Применение систем автоматизированного проектирования при создании легких беспилотных транспортных средств // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2023. – Т. 20, № 5. – С. 8–15.

© М. С. Аристов, А. Денисенко, С. А. Мартынов, А. А. Шаранов, 2026