

А. В. Чернокнижник¹

Є. Р. Добровольська¹

О. С. Чіпак¹

Р. С. Белзецький¹

СТВОРЕННЯ ВІРТУАЛЬНОГО ПРОТОТИПУ МОБІЛЬНОГО РОБОТА В СЕРЕДОВИЩІ WEBOTS

¹ Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі досліджено процес створення віртуального прототипу мобільного робота в середовищі Webots. Представлено методику адаптації 3D-геометрії, яка включає етап проміжної обробки в редакторі Blender: масштабування моделі, оптимізацію полігональної сітки та налаштування опорних точок. Описано інтеграцію обробленої моделі через вузол Mesh у структурі Shape, що дозволило досягти високої візуальної відповідності реальному прототипу на базі Arduino. Розглянуто переваги використання гібридної моделі колізій для підвищення стабільності фізичної симуляції.

Ключові слова: Webots, Blender, віртуальний прототип, 3D-моделювання, Mesh, симуляція, робототехніка.

Annotation

The paper investigates the process of creating a digital twin of a mobile robot in the Webots environment. A 3D geometry adaptation method is presented, which includes an intermediate processing stage in the Blender editor: scaling the model, optimizing the polygonal mesh, and setting the reference points. The integration of the processed model through the Mesh node in the Shape structure is described, which made it possible to achieve high visual correspondence to the real prototype based on Arduino. The advantages of using a hybrid collision model to increase the stability of the physical simulation are considered.

Keywords: Webots, Blender, virtual prototype, 3D modeling, Mesh, Arduino, simulation, robotics.

Вступ

Сучасна розробка робототехнічних систем передбачає обов'язковий етап комп'ютерного моделювання. Складність алгоритмів керування, навігації та машинного зору значно зростає, і метод "спроб і помилок" на реальному обладнанні стає економічно не вигідним та технічно ризикованим [1, 2]. Помилка в коді може призвести до пошкодження апаратних компонентів — драйверів двигунів, датчиків або механічних вузлів.

З огляду на це, застосування концепції віртуального прототипу набуває критичного значення. Вона передбачає створення віртуальної копії фізичного пристрою, яка точно відтворює його геометричні, кінематичні та динамічні характеристики. Серед багатьох інструментів симуляції середовище Webots вирізняється своєю відкритістю, потужним фізичним рушієм та можливістю інтеграції з популярними мовами програмування, зокрема Python та C++ [3].

Однак, на практиці інженери стикаються з проблемою розриву між CAD-проекуванням та середовищем симуляції. 3D-моделі, створені для друку або виробництва, часто мають надлишкову

деталізацію та некоректний масштаб, що робить їх прямий імпорт у симулятор неможливим або неефективним [4].

Актуальність теми зумовлена необхідністю розробки чіткого алгоритму перенесення кастомних робототехнічних конструкцій у віртуальне середовище зі збереженням їх фізичної достовірності.

Метою роботи є дослідження процесу створення віртуального прототипу мобільного робота на базі платформи Arduino. Основна увага приділяється методиці адаптації 3D-геометрії за допомогою графічного редактора Blender (оптимізація сітки, масштабування) та її подальшій інтеграції у Webots через вузол Mesh.

Об'єктом дослідження виступає навчальна мобільна платформа з диференційним приводом, оснащена мікроконтролером та сенсорами відстані. Практична цінність роботи полягає у створенні верифікованої стимуляційної моделі, яка дозволяє безпечно відлагоджувати алгоритми руху перед їх завантаженням у реальний мікроконтролер.

Результати дослідження

У ході виконання роботи було вирішено задачу створення високоточного віртуального прототипу мобільного робота для середовища симуляції Webots. Процес розробки було розділено на три ключові етапи: аналіз фізичного прототипу, оптимізація 3D-геометрії в редакторі Blender та програмна інтеграція у віртуальний світ.

1. Аналіз архітектури фізичного прототипу. Об'єктом моделювання виступила мобільна платформа з диференційним приводом. Конструктивно робот складається з двошарового шасі (жовтий акрил/пластик), на якому розміщено керуючу електроніку. Для забезпечення валідності симуляції було визначено критичні параметри, які необхідно перенести у віртуальну модель.

Кінематична схема: два ведучих колеса (приводяться в рух DC-моторами типу TT-motor) та одна пасивна точка опори (кулькова опора).

Електронні компоненти: мікроконтролер Arduino Nano (на платі розширення), драйвер двигунів, лазерний дальномір. Їхня наявність у моделі важлива не лише для візуалізації, а й для врахування розподілу маси (центру тяжіння), що впливає на динаміку розгону та гальмування.

2. Етап попередньої обробки геометрії (*Pipeline: CAD – Blender*) Прямий експорт інженерних CAD-моделей у середовище симуляції виявився неефективним через надлишкову деталізацію та проблеми з масштабуванням. Тому було розроблено проміжний етап обробки у графічному редакторі Blender [5] (рисунок 1).

Масштабування (*Scaling & Unit Conversion*): Середовище Webots працює в системі СІ (метри), тоді як вихідні моделі для 3D-друку часто проєктуються в міліметрах. У Blender було виконано глобальне масштабування геометрії (*ScaleFactor* 0.001) та застосування трансформацій (Ctrl + A → Apply Scale), щоб уникнути фізичних артефактів при симуляції.

Оптимізація сітки (*Mesh Optimization*): Вихідна модель містила складні елементи (різьба на гвинтах, внутрішні порожнини моторів), які не впливають на зовнішній вигляд, але перевантажують графічний

конвеєр. Було застосовано методи ретопології та модифікатор *Decimate*, що дозволило зменшити кількість полігонів без втрати візуальної якості.

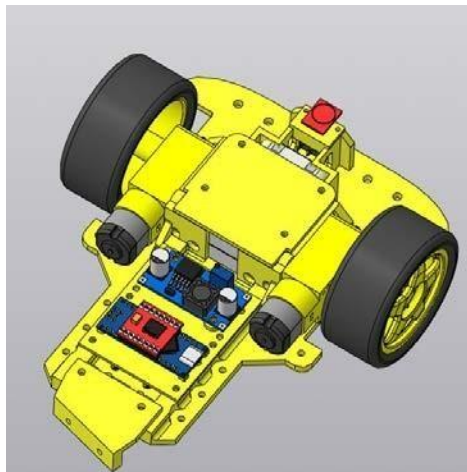


Рис. 1. 3 D-модель робота після оптимізації геометричної сітки та текстурування в редакторі Blender.

Налаштування опорних точок (*PivotPoints*): Для коректного обертання коліс їхні центри мас (*Origins*) були вирівняні суворо по геометричному центру осей обертання. Це критично важливо, оскільки зміщення *PivotPoint* у *Webots* призводить до "биття" колеса та нестабільного руху робота.

3. Інтеграція та налаштування вузлів у *Webots*. Складання робота у середовищі *Webots* виконувалося не через примітиви, а через імпорт підготовленої геометрії.

Використання вузла *Mesh*: Для відображення складного корпусу робота було використано структуру: *Robot*→*Children*→*Shape*→*Geometry*→*Mesh*. Вузол *Mesh* дозволив завантажити оптимізований *.obj* файл з Blender, зберігши всі дрібні деталі: текстуру плати Arduino, ребра жорсткості шасі та специфічну форму протекторів коліс [6]. Це забезпечило високо деталізований вигляд робота, ідентичний реальному прототипу (рисунок 2.).

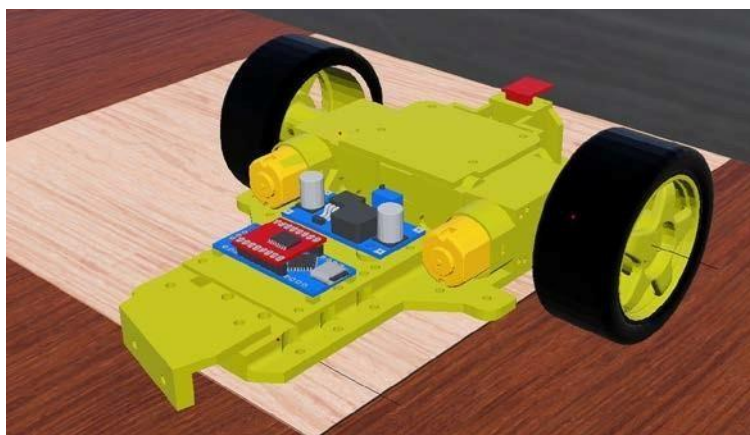


Рис. 2. Візуалізація віртуального прототипа у середовищі *Webots*.

Розділення візуальної та фізичної моделі (*Bounding Object*): Одним із головних результатів дослідження стала реалізація гібридної моделі колізій. Для візуалізації (*rendering*) використовується детальна *Mesh*-сітка, проте для розрахунку фізичних зіткнень у полі *bounding Object* було поміщено спрощені примітиви (*Box*, *Cylinder*). Обґрунтування: Використання *Mesh*-сітки для фізики

(*collisiondetection*) вимагає значних обчислювальних ресурсів і може викликати помилки некоректної колізії полігонів. Спрощена фізична модель гарантує стабільну взаємодію з підлогою та перешкодами [7].

4. Програмна реалізація керування. Для забезпечення функціонування моделі розроблено контролер, який емулює роботу реального скетчу Arduino: зчитує дані з віртуальних сенсорів і передає керуючі команди на вузли Rotational Motor. Завдяки відповідності геометричних параметрів 3D-моделі та реального робота, коефіцієнти ПІД-регуляторів, розраховані в середовищі симуляції, можуть бути перенесені на фізичний пристрій з мінімальною похибкою [8, 9].

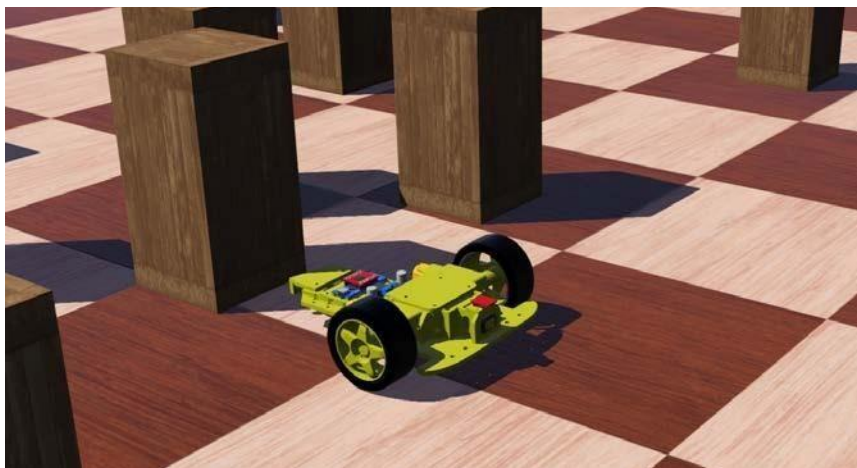


Рис. 3. Аксонометрична проекція сцени симуляції. Демонстрація кінематичної схеми робота з диференціальним приводом.

Висновки

Отже, практична цінність створення віртуального прототипу полягає в його достовірності. Він слугує безпечним полігоном між фізичним обладнанням та абстрактними алгоритмами керування. Використання зв'язків Blender та Webots дозволяє: адаптувати складні інженерні САД-моделі до вимог фізичного рушія через оптимізацію Mesh-сітки; прогнозувати поведінку робота в аварійних ситуаціях без ризику пошкодження; прискорювати процес розробки, тестуючи програмний код у віртуальному часі перед його завантаженням у мікроконтролер.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Corke P. Robotics, Vision and Control: Fundamental Algorithms in MATLAB [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-54413-7>
2. Siciliano B., Khatib O. Springer Hand book of Robotics [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-540-30301-5>
3. Michel O. Webots: Professional Mobile Robots Simulation [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/221702459_Webots_TM_Professional_Mobile_Robot_Simulation
4. Design and Simulation of Mobile Robots Operating Within Networked Architectures [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/11/6287>
5. Blender 4.0 Reference Manual [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://docs.blender.org/manual/en/latest/>

6. Webots User Guide: Using Meshes [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://cyberbotics.com/doc/guide/using-meshes>
7. Koenig N., Howard A. Design and Use Paradigms for Gazebo, An Open-Source Multi-Robot Simulator [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1389727>
8. Lynch K. M., Park F. C. Modern Robotics: Mechanics, Planning, and Control [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://hades.mech.northwestern.edu/index.php/Modern_Robotics
9. Siegwart R., Nourbakhsh I. R., Scaramuzza D. Introduction to Autonomous Mobile Robots. 2nd ed. Cambridge: MIT Press, 2011. 353 p.

Чернокнижник Артем Віталійович – студент групи 1КН-24б, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: shov953@gmail.com;

Добровольська Євгенія Романівна – студентка групи 1КН-22б, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: yevheniadowolskaa@gmail.com;

Чіпак Олександр Сергійович – студент групи 1КН-24б, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, e-mail: chipakoleksandrs@gmail.com

Белзетський Руслан Станіславович – канд. техн. наук, доцент кафедри комп'ютерних наук, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: belzetskyi@vntu.edu.ua;

Chernoknyzhnyk Artem V. – Student of group 1KN-24b, Faculty of Intelligent Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, e-mail: shov953@gmail.com;

Dobrovolska Yevheniia R. – Student of group 1KN-22b, Faculty of Intelligent Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, e-mail: yevheniadowolskaa@gmail.com;

Chipak Oleksandr S. – Student of group 1KN-24b, Faculty of Intelligent Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, e-mail: chipakoleksandrs@gmail.com

Belzetskyi Ruslan S. – Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor of the Chair of Integration Education with Production, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: belzetskyi@vntu.edu.ua.