

КАПИТЕЛ 4 / CHAPTER 4⁴

COMPUTER MODELS OF NAVIGATION AIDS FOR MOBILE ROBOTS

DOI: 10.30890/2709-2313.2025-41-07-006

Вступ

Для переміщення мобільних роботів та транспортних засобів по встановленим траєкторіям, а також для визначення їх положення та орієнтації широко використовуються системи навігації [1-5], тому важливою задачею є проведення навчання у напрямку проєктування та використання таких систем. В умовах відсутності можливості проводити практичні заняття на основі реальних транспортних засобів, особливо при дистанційному навчанні, встає питання застосувати апаратні (у вигляді макетів) та комп'ютерні моделі мобільних роботів та транспортних засобів, у склад яких входить навігаційне обладнання. Тому метою роботи є розробка апаратних та програмних моделей для дослідження засобів навігації шляхом визначення положення та орієнтації мобільних роботів. Для досягнення цієї мети були визначені можливі способи створення апаратних та комп'ютерних моделей засобів навігації мобільних роботів, проведена розробка апаратного стенду та комп'ютерної моделі для дослідження засобів навігації, наведені можливості використання отриманих результатів при проведенні дистанційного навчання за допомогою комп'ютерних моделей.

4.1. Порівняльний аналіз засобів створення макетів та комп'ютерних моделей навігаційного обладнання мобільних роботів

Мобільні роботи використовують системи персональної, локальної та глобальної навігації [1].

⁴**Authors:** Mykhaylov Evgeniy Pavlovich, Lingur Valeriy Nikolaevich, Vudvud Alexander Nikolaevich, Yarovy Artem Serhiyovych
Number of characters: 15325
Author's sheets: 0,38



Персональна навігація здійснює позиціонування окремих частин робота та визначення їх положення та заснована на використанні сенсорів положення окремих частин робота та засобів визначення положення зовнішніх об'єктів відносно робота.

Локальна навігація здійснює визначення координат відносно встановленої точки та заснована на отриманні інформації з сенсорів, що знаходяться на самому роботі, наприклад, системи маршрутослідкування на основі індуктивних та оптичних датчиків, що використовують різні вказівники маршруту.

Глобальна навігація здійснює визначення абсолютних координат робота при переміщенні за допомогою зовнішніх засобів навігації (наприклад, GPS), що використовується при переміщенні по довгим маршрутам.

Розглянемо засоби, за допомогою яких здійснюється навігація мобільних роботів [3-5].

До систем персональної навігації можна віднести пристрої визначення положення та переміщення. Найпростішими сенсорами визначення положення є контактні сенсори, у яких механічне переміщення перетворюється в замкнений або розімкнений стан електричних контактів. Для визначення наявності інших об'єктів або положення відносно них використовуються засоби вихнення наявності або вимірювання відстані, наприклад, ультразвукові, інфрачервоні, лазерні та інші. Визначення переміщення можна здійснити за допомогою імпульсних індуктивних та оптичних сенсорів шляхом підрахунку кількості імпульсів та помноження цієї кількості на шлях переміщення між двома сусідніми імпульсами (засоби одометрії). При цьому переміщення може бути обертальним чи поступальним. Аналогічно імпульсним сенсорам для визначення переміщення можна використовувати сигнали керування кроковими двигунами у яких при наданні одного імпульсу вал повертається на визначений кут. Для встановлення кутового положення елементів робототехнічних пристроїв часто використовують сервоприводи, які встановлюють положення валу згідно з кутом, що визначається системою керування за допомогою відповідного оператора [6].



Розглянемо засоби, що використовують системи локальної навігації включаючи системи відслідковування маршруту. Для визначення положення та орієнтації мобільних роботів відносно інших об'єктів можна використовувати ультразвукові та оптичні вимірювачі відстані з скануванням [5]. Визначення положення відносно умовного початку координат та орієнтація мобільних роботів здійснюється шляхом вимірювання відстані та куту повороту сканера при скануванні для сигналів, відбитих від об'єктів або рефлекторів.

До систем локальної навігації можна також віднести засоби відслідковування маршруту [4]. Розглянемо пристрої, що здійснюють відслідковування маршруту, для яких є можливість створити комп'ютерні моделі. Одним з таких засобів є переміщення мобільного робота вздовж контрастної смуги за допомогою двох оптичних сенсорів.

Для створення макетів, за допомогою яких можна проводити дослідження мобільних роботів та засобів навігації Був використаний апаратно-програмний комплекс Arduino, що широко використовується для створення різних робототехнічних пристроїв завдяки великій кількості пристроїв програмного керування, виконавчих пристроїв та інформаційних систем, на основі яких можна створювати мобільні роботи з різними засобами навігації. Крім того для цього комплексу існують симулятори для моделювання різних робототехнічних пристроїв та мобільних роботів, а саме, симулятори UnoArduSim та Q2WDBotSim.

Іншим потужним засобом для моделювання робототехнічних пристроїв та комплексів є платформа CoppeliaSim/V-REP (Virtual Robotics Experimentation Platform). Ця платформа дає можливості створення різних моделей робототехнічних пристроїв, у тому числі і мобільних роботів з засобами навігації. У складі платформи є велика кількість прикладів стаціонарних та мобільних роботів, за допомогою яких можна проводити дослідження, а також засоби для створення моделей, з виконавчими та інформаційними пристроями.



4.2. Стенд та комп'ютерні моделі для дослідження засобів навігації на основі симулятора UnoArduSim

Для дослідження засобів визначення положення мобільних роботів у межах студентського гуртка був розроблений макет, що використовує засоби навігації та може бути прототипом для комп'ютерних моделей на основі апаратно-програмного комплексу Arduino [6] (рисунок 1).

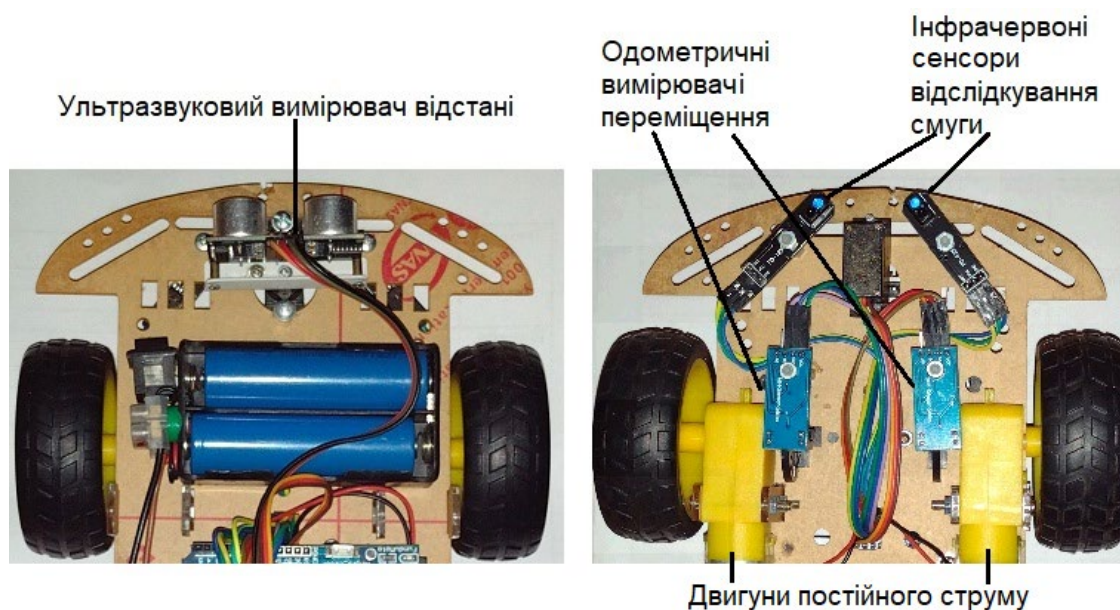


Рисунок 1 – Виконавчі та інформаційні пристрої на макеті

Авторська розробка

Для переміщення мобільного робота використовується диференціальний привод, який має два двигуна постійного струму з енкодерами для визначення шляху переміщення. Для керування двигунами використовується драйвер двигунів Shield L298P, оскільки він має сигнали керування двигунами аналогічно тим, що застосовує мобільний робот симулятора Q2WDBotSim.

Для вимірювання відстані використовується ультразвуковий сенсор HC-SR04.

Для керування двигунами використовується драйвер двигунів Shield L298P, оскільки він має сигнали керування двигунами аналогічно тим, що застосовує мобільний робот симулятора Q2WDBotSim. Для вимірювання відстані



використовується ультразвуковий сенсор HC-SR04. Визначення контрастних смуг для реалізації маршрутослідкування здійснюється за допомогою двох інфрачервоних сенсорів FC-123.

Інформаційні та виконавчі пристрої макета мобільного робота аналогічні тим інструментам, які можуть використовуватись для розробки комп'ютерної моделі за допомогою симулятора UnoArduSim. Були розроблені програми для визначення відстані за допомогою ультразвукового сенсору та переміщення за допомогою енкoderів, а також програма відслідковування маршруту переміщення за допомогою контрастної смуги.

Оскільки аналогічні інформаційні та виконавчі пристрої макету мобільного робота входять у склад конфігурації симулятора UnoArduSim є можливість відпрацьовувати розроблені програми на симуляторі з метою дослідження відповідних засобів навігації на комп'ютерних моделях, що дає можливість використовувати їх для дистанційного навчання.

Для макета була розроблена програма переміщення мобільного робота з визначенням перешкод та розвороту для пошуку можливості подальшого переміщення. За допомогою симулятора UnoArduSim була розроблена аналогічна модель, що складається з двох двигунів постійного струму DC Motor з енкoderами, моделі ультразвукового вимірювача відстані на основі інструмента One-Shot Generator, сервопривода Servo Motor для моделювання сканування, слайдери (Analog Slider) для визначення смуги, що видають відповідні аналогові сигнали у вигляді напруги від 0 до 5 В (рисунки 2).

Розглянуті можливості дослідження засобів навігації за допомогою симулятора Q2WDBotSim, що входить у склад симулятора UnoArduSim, з ігровим полем та мобільним роботом, на якому встановлений маніпулятор [8].

Мобільний робот у симуляторі Q2WDBotSim використовує різні засоби, що можуть бути застосовані для навігації (рисунки 3).

Розроблена програма (скетч) за допомогою якої здійснюється визначення перешкод за допомогою контактних сенсорів.

Переміщення здійснюється за такими умовами.

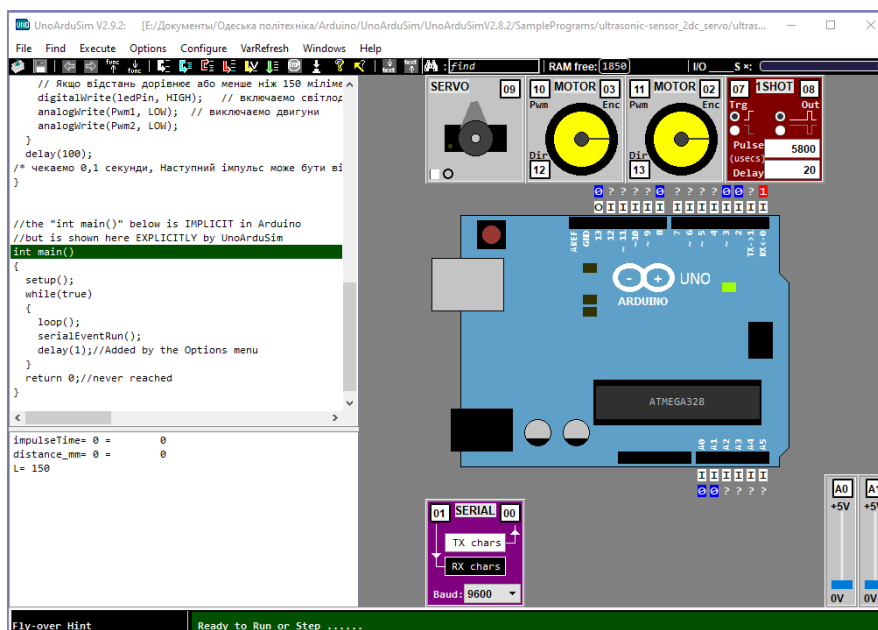


Рисунок 2 – Модель мобільного робота на основі симулятора UnoArduSim

Авторська розробка

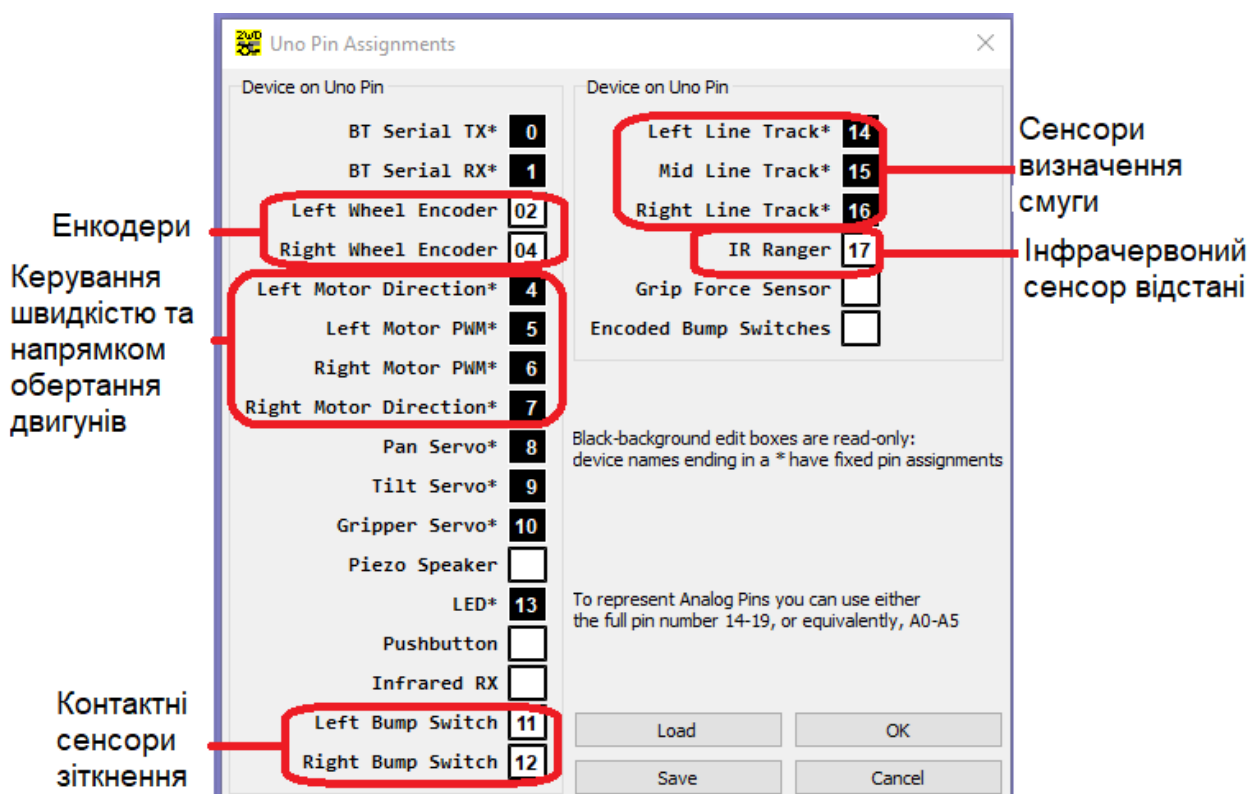


Рисунок 3 - Засоби навігації у вікні конфігурації

Авторська розробка



Якщо спрацював правий та не спрацював лівий сенсор, здійснюється поворот назад направо.

Якщо спрацював лівий та не спрацював правий сенсор, здійснюється поворот назад наліво (рисунок 4).

Рух здійснюється вперед, якщо сенсори не спрацювали.

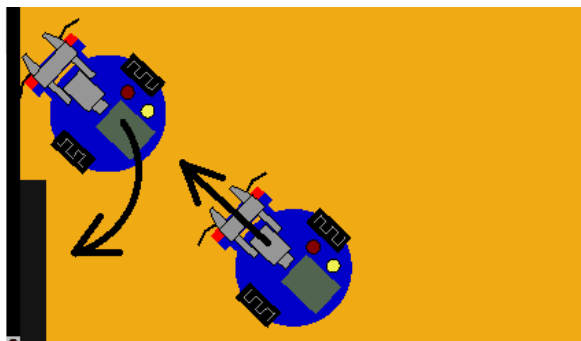


Рисунок 4 - Визначення перешкод за допомогою контактних сенсорів

Авторська розробка

Була створена система відслідковування маршруту за допомогою оптичних сенсорів визначення смуги (рисунок 5).

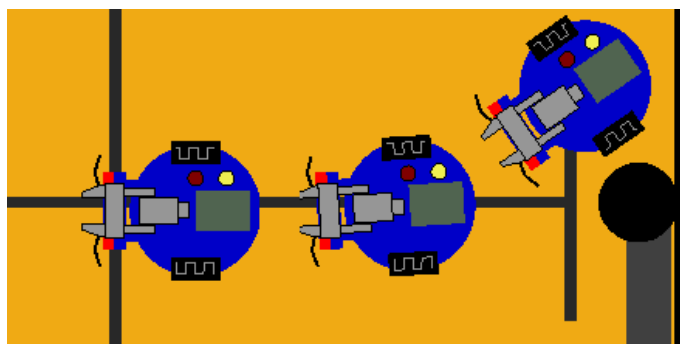


Рисунок 5 - Виконання програми переміщення вздовж смуги

Авторська розробка

Розглянемо переміщення мобільного роботу по траєкторії з кусочно-ламанною апроксимацією, яка здійснюється шляхом переміщення по прямій на вказану відстань та поворотом на місці або одним колесом на вказаний кут.

Визначимо розміри візка, які застосовуються для визначення переміщення.

Колісна база (відстань між колесами) $W = 14$ см (5,5 дюймів).

Довжина кола колеса $L_{wheel} = 20,5$ см (8 дюймів).



Діаметр колеса $D = 6,525$ см.

Кількість спрацювань енкодера на одне обертання колеса 20.

Шлях, який проходить колеса між двома спрацюваннями енкодера дорівнює

$$Len = L_{wheel} / 20 = 1,025 \text{ см} = 0,01025 \text{ м.} \quad (1)$$

Тому шлях при визначені n імпульсів складає

$$Ln = Len \cdot n = 1,025 \cdot n. \quad (2)$$

Виходячи з цих даних можна визначити кількість спрацювань енкодера для переміщення мобільного робота на вказану відстань та повороту на вказаний кут, що дає можливість спланувати траєкторію переміщення мобільного робота використовуючи засоби персональної навігації.

4.3. Розробка комп'ютерної моделі для дослідження засобів навігації на основі платформи CoppeliaSim

Платформа CoppeliaSim/V-REP дає можливості створення різних моделей робототехнічних пристроїв, у тому числі і мобільних роботів з засобами навігації [9].

Для створювати моделей використовуються різні об'єкти, серед яких є різні сенсори та виконавчі пристрої, у складі яких є вимірювачі відстані.

Були розглянуті можливості створення програми переміщення мобільного робота на основі засобів навігації. Так скрипт моделі мобільного робота KUKA YouBot (рисунок 6) має функції, що здійснюють такі переміщення:

```
setMovement(0,0.5,0)    -- переміщення вправо;
sim.wait(10)           -- затримка 10 с, встановлює час переміщення;
setMovement(0,0,0.5)    -- поворот за годинниковою стрілкою.
```

Після аналізу цих функцій була визначена відповідність параметрів з напрямком руху (рисунок 7).

Використовуючи наведений зв'язок параметрів функції setMovement() з напрямком переміщення можна створити програму переміщення мобільного робота по вказаній траєкторії..



Рисунок 6 - Модель мобільного робота KUKA YouBot

Авторська розробка

<code>setMovement(0,0.5,0)</code>	→	направо
<code>sim.wait(10)</code>		
<code>setMovement(0.5,0,0)</code>	↑	вперед
<code>sim.wait(10)</code>		
<code>setMovement(0,-0.5,0)</code>	←	наліво
<code>sim.wait(10)</code>		
<code>setMovement(-0.5,0,0)</code>	↓	назад
<code>sim.wait(10)</code>		
<code>setMovement(0.5,0.5,0)</code>	↗	вперед - направо
<code>sim.wait(10)</code>		
<code>setMovement(-0.5,-0.5,0)</code>	↙	назад - наліво
<code>sim.wait(10)</code>		
<code>setMovement(-0.5,0.5,0)</code>	↘	назад - направо
<code>sim.wait(10)</code>		
<code>setMovement(0.5,-0.5,0)</code>	↖	вперед - наліво
<code>sim.wait(10)</code>		
<code>setMovement(0,0,0.5)</code>	↻	за годинниковою стрілкою
<code>sim.wait(20)</code>		
<code>setMovement(0,0,-0.5)</code>	↻	проти годинникової стрілки
<code>sim.wait(20)</code>		
<code>setMovement(0,0,0)</code>		зупинка

Рисунок 7 - Відповідність параметрів напрямкам руху

Авторська розробка

На основі моделі мобільного робота *pioneer 3dx* була розроблена модель, за допомогою якої можна провести дослідження переміщення мобільного робота з виявленням перешкод за допомогою ультразвукових датчиків та визначити



залежність траєкторії переміщення від швидкості, що встановлюється слайдером

На основі моделі мобільного робота *pioneer 3dx* була розроблена модель, за допомогою якої можна провести дослідження переміщення мобільного робота з виявленням перешкод за допомогою ультразвукових датчиків та визначити залежність траєкторії переміщення від швидкості, що встановлюється слайдером (рисунок 8).

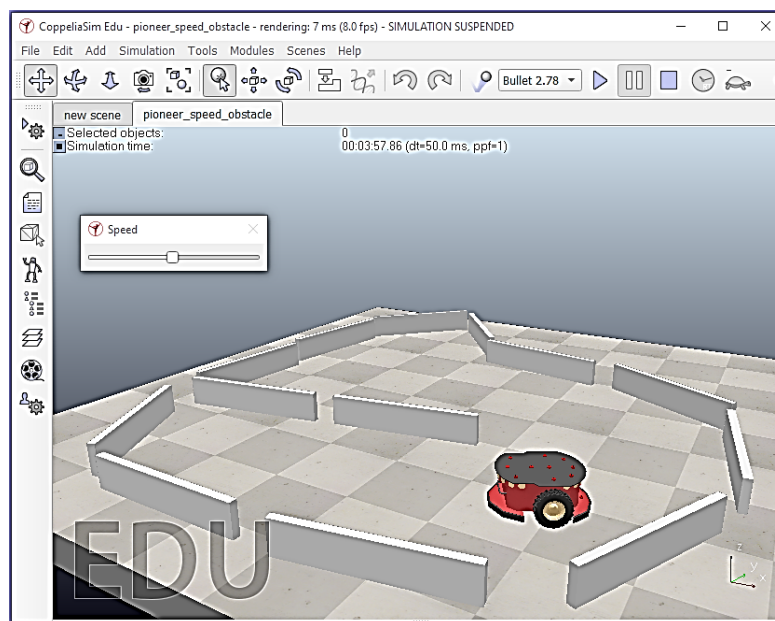


Рисунок 8 - Модель для дослідження переміщення мобільного робота з виявленням перешкод

Авторська розробка

Доповнення моделі мобільного робота *pioneer 3dx* регуляторами швидкості обертання обох двигунів дало можливість досліджувати переміщення за дугою кола з різними радіусами (рисунок 9).

Використовуючи модель, на якій встановлені сенсори визначення смуги [9] можна проводити дослідження засобів відслідковування смуги та вплив на них форми смуги та швидкості переміщення (рисунок 10). Зміна форми здійснюється за допомогою інструмента переміщення об'єктів.

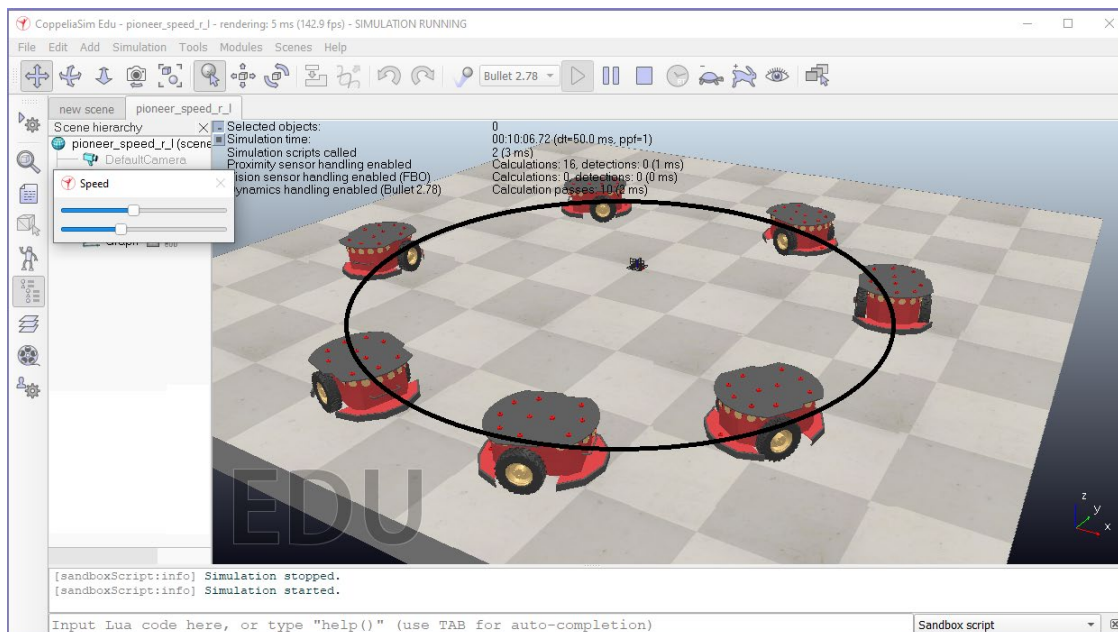


Рисунок 9 - Результат переміщення мобільного робота з визначенням перешкод

Авторська розробка

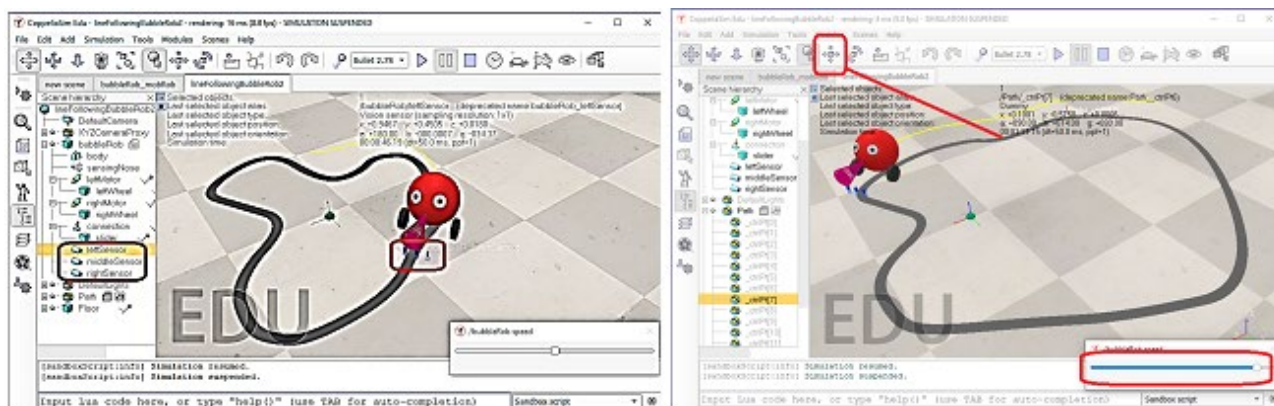


Рисунок 10 - Зміна форми смуги та швидкості переміщення



Висновки

Проведений порівняльний аналіз засобів створення комп'ютерних моделей засобів навігації мобільних роботів. Показано, що моделі засобів навігації можуть бути створені за допомогою апаратно-програмного комплексу Arduino та симулятора UnoArduSim, а також платформи CoppeliaSim/V-REP.

Проведена розробка стенду та комп'ютерних моделей для дослідження засобів навігації мобільних роботів. Розроблений стенд реалізований за допомогою елементів апаратно-програмного комплексу Arduino, з інформаційними засобами та засобами переміщення, що використовуються для навігації мобільних роботів.

Створені моделі для дослідження навігації мобільних роботів шляхом визначення відстані до перешкод та використання сенсорів відслідковування смуги. Наведені приклад створення засобів навігації на основі визначення відстані до перешкод та відслідковування смуги.

Наведені можливості створення моделей навігації мобільних роботів за допомогою платформи CoppeliaSim.