

Репнікова Н.Б., к. т. н.,
orcid.org/0000-0002-9492-038X,
Сверчков В.А.,
orcid.org/0000-0003-2082-9230

ВДОСКОНАЛЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ МОДЕЛІ КРОКУЮЧОГО РОБОТА

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут
ім. Ігоря Сікорського»

n.repnikova@gmail.com
vladenigmatic@gmail.com

Вступ

Двоногі крокуючі роботи є досить цікавими різновидами роботів, оскільки вони за своєю конструкцією правдоподібно відтворюють нижні кінцівки людини. Ця особливість відкриває перед науковцями широкі можливості для дослідження механіки руху нижніх кінцівок людини, а також допомагає проектувати пристрої, котрі виконували б певні транспортні задачі, асистували людині у небезпечному середовищі, або навіть допомагали хворим з паралізованою ніг в їхній реабілітації [1-2].

Багато природніх ландшафтів мають досить нерівну поверхню: гори, пагорби, узбережжя тощо. Це дуже погані умови для використання колісних та навіть гусеничних роботів. Така ситуація підвищує затребуваність саме ходячих роботів з декількома ногами та їх актуальність для дослідників, оскільки вони відтворюють динаміку руху живих істот, котрі вдало переміщуються та живуть у подібних місцевостях [3].

Звичайно, розробка, вивчення та експериментування над такими прототипами неможливі без попередніх розрахунків або, принаймні, ескізів. На сьогодні є велика кількість доступного програмного забезпечення, котре допомагає виконувати моделювання різноманітних механізмів – в тому числі і роботів – без зайвих ресурсних та часових затрат. Одним з таких програмних забезпечень є пакет прикладних

програм MATLAB разом з інтерактивним інструментом Simulink.

В даній статті для досліджень була взята вже готова авторська модель, яку розробив Sebastian Castro (надалі – «автор») у середовищі MATLAB R2017a [4]. Запропонована автором модель реалізована з використанням спеціальної бібліотеки Simscape Multibody, яка входить до пакету Simulink, і котра надає можливість моделювати різноманітні механічні 3D системи.

Авторська модель являє собою простий двоногий крокуючий робот із шістьма степенями свободи: дві для стоп, дві для гомілкових сегментів, дві для стегнових сегментів. Він має висоту 28 см, вага складає 0.6273 кг, здатний відтворювати рухи нижніх кінцівок людини та ходити прямолінійно відповідно до заданого початкового напрямку. Авторська модель крокуючого робота є гарною основою для її подальшої модернізації під задачу виявлення та обходження перешкод на шляху робота.

Найбільш лаконічно авторський робот зображений на рис.1.

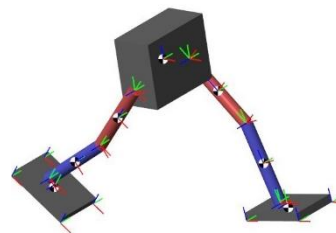


Рис. 1. Авторський крокуючий двоногий робот у середовищі Simulink

На рис. 1 чорно-білі кола – центри мас блоків, зеленим кольором позначено вісь Y (відповідає за ширину складових робота та ширину дороги), червоним – вісь X (відповідає за довжину дороги та складових робота), синім – вісь Z (відповідає за висоту). Маючи шість степенів свободи, робот має можливість здійснювати згинання стопи, коліна і стегна на лівій нозі та на правій. Це забезпечується можливістю відхилення кожного з цих трьох сегментів ноги відносно вісі X на 180° – від -90° до 90° відносно початкової позиції з використанням блоків Rigid Transform бібліотеки Simscape Multibody.

Стопи робота мають у чотирьох кутах реалізовані контактні сили, котрі визначають взаємодію стоп робота з поверхнею, опираючись на яку він рухається.

Робот рухається за рахунок подання кожної 0.1333 секунди значень кутів на приводи стоп, колін та стегон з використанням блоків Repeating Table. Повний цикл ходьби робота триває 0.8 секунд, після чого він повторюється, доки робот з якихось причин не впаде, або доки час моделювання не припиниться. Спочатку значення кутів подаються на праву ногу, а через 0.4 секунди на ліву, що дозволяє ногам рухатися по чергово, виконуючи рівномірне перенесення ваги. За перетворення прийнятих значень кутів у відповідні керуючі сигнали для запуску виконавчих механізмів відповідає Simulink-блок Revolute Joint. Процес ходьби авторського робота зображено на рис 2.

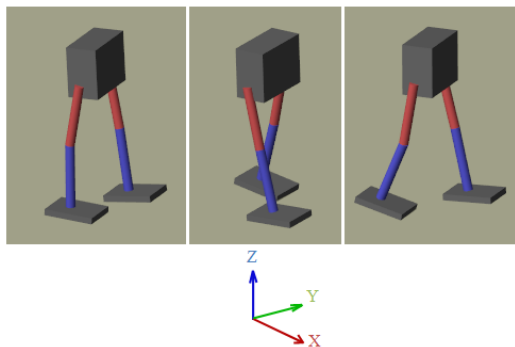


Рис. 2. Ходьба авторського робота у Simulink

Також, автор реалізував виведення інформації щодо певних параметрів робота у вигляді графіків: залежність кута стоп, колін та стегон від часу, пройдена роботою відстань, кутова швидкість, висота торсу робота над поверхнею.

Головна задача, котру вирішує авторська модель – переміщення робота у просторі подібно до паттерну переміщення людини. Мета модернізації моделі полягає у підвищенні функціональних можливостей робота, а саме – у наданні роботом можливості обходити перешкоди за їх наявності.

Шляхи та результати модернізації моделі крокуючого робота

На шляху до досягнення мети модернізації були виконані наступні кроки:

1. Зміна розрахунку інерції частин робота зі щільності на кілограми. До цього інерція сегментів нижніх кінцівок робота розраховувалася на основі щільності ($\text{кг}/\text{м}^3$), що було незручно для обчислення такого параметру робота, як вага. Також, відомо, що двоногих роботів досить важко зрівноважити у порівнянні з тими самими триногими або шестиногими екземплярами [5]. Вага модернізованого робота складає 172 кг. Така величина зумовлена тим, що робот має досить важкий торс у порівнянні з масою ніг, а тому збереження малої ваги ніг при переміщенні викликало б різку втрату рівноваги робота, що неминуче призводило б до його падіння. Для компенсації такого явища вага кожної стопи була прирівняна до 60 кг, при цьому гомілки та стегна – по 8 кг. Якщо казати про втілення даної моделі в реальності, то немає необхідності створювати такі важкі стопи – це лише найпростіша варіація усунення проблеми високої інерційності робота при віртуальному моделюванні, а у житті різні, наприклад, гідравлічні механізми можуть утримувати баланс робота.

2. Зміна розмірів робота на такі, що наближені до людини. Нові розміри складових робота (висота, вісь Z): стегна – 38

см, гомілки – 40 см, торс – 32 см. Дані розміри стегон та гомілок відповідають людині, чий зріст дорівнює 175 см.

3. Зміна параметрів взаємодії робота з поверхнею (вище згадані контактні сили).

4. Реалізація додаткової мобільності робота за рахунок впровадження додаткових 6-ти степенів свободи робота шляхом додавання можливості відхилення стегон відносно вісі Y, відхилення стоп відносно осей Y та Z. Результуюча модель має 12 степенів свободи. Таким чином, модернізована модель містить більш наближену до людини кількість степенів свободи [6].

5. Написання скрипту, котрий показує швидкість руху робота у кожний момент часу, а також підраховує середню швидкість робота.

6. Додавання перешкоди на шляху робота – паралелепіпед з розмірами $40 \times 80 \times 16$ см.

7. Реалізація виявлення роботом перешкоди та її уникнення зі збереженням початкового напрямку руху (вздовж осі X).

Зупинимося детальніше на 7-му пункті. Його ядром є два блоки – Transform Sensor та Compare to Constant. Перший блок дозволяє аналізувати відстань між роботом та перешкодою, а другий – при виявленні достатнього зближення із перешкодою (тут – 1.3 м) перейти до відповідного реагування, яке детальніше буде розглядатися.

На рис. 3 зображена ділянка схеми, котра відповідає за просторове відображення перешкоди та її виявлення модернізованим роботом. Червоним виділенням позначена перешкода та чотири блоки, котрі відповідають за її просторове положення. Синім позначена ділянка, що аналізує відстань між роботом та перешкодою, а зеленим – детектор близькості до перешкоди.

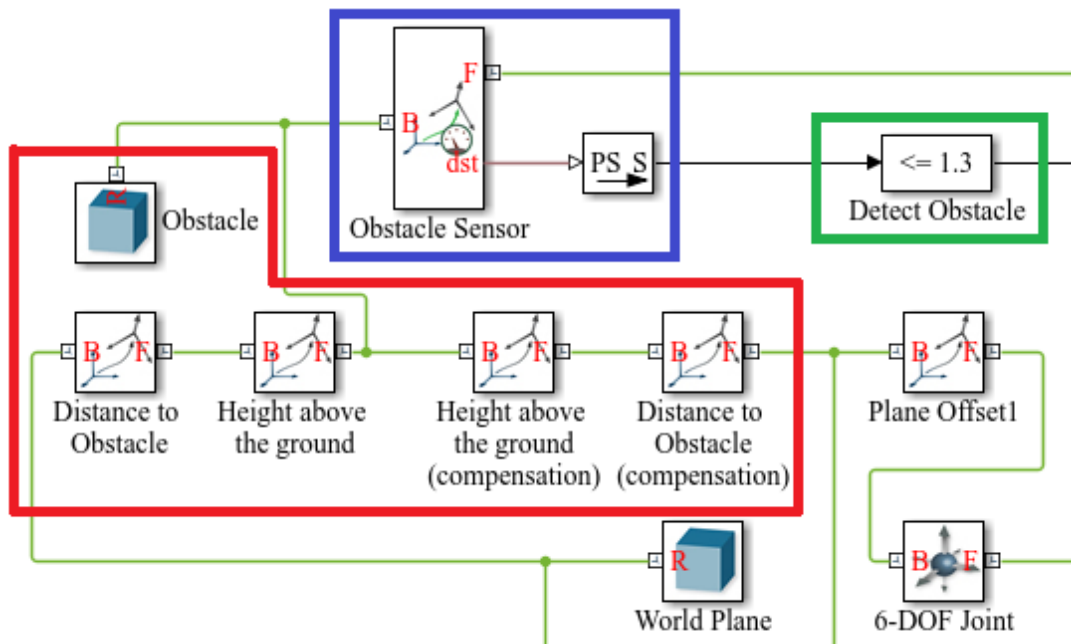


Рис. 3. Ділянка схеми у Simulink, котра відповідає за відображення перешкоди та її виявлення роботом

Після того, як буде виявлена близькість до перешкоди, робот переходить у короткий стан групування і рухається ліворуч, доки не вийде із зони де-

тектування перешкоди, після чого продовжить рухатися вперед. Логіка обходу роботом перешкод продемонстрована на рис. 4 та рис. 5.

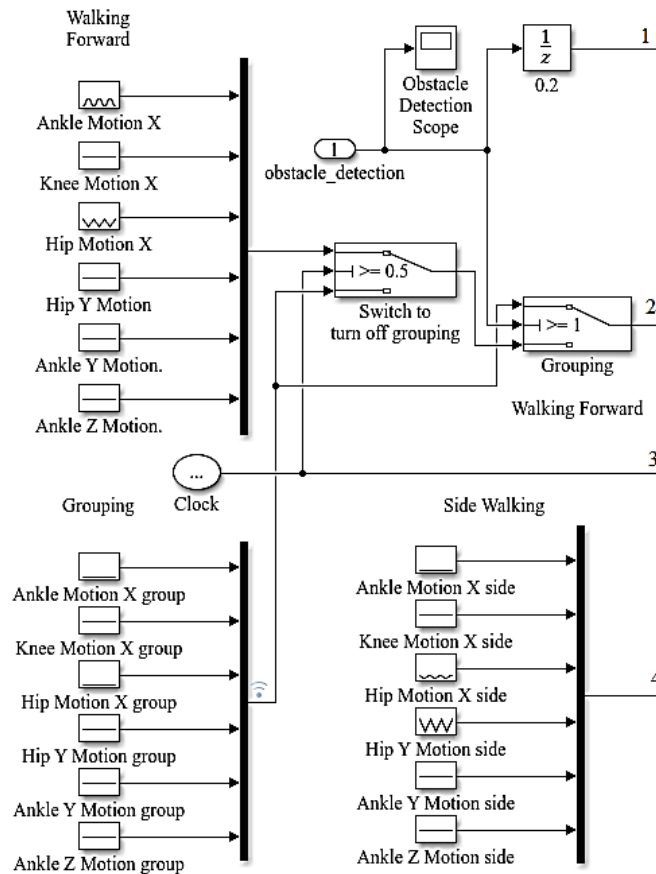


Рис. 4. Ділянка, що відповідає за логіку переміщення робота при виявленні перешкоди

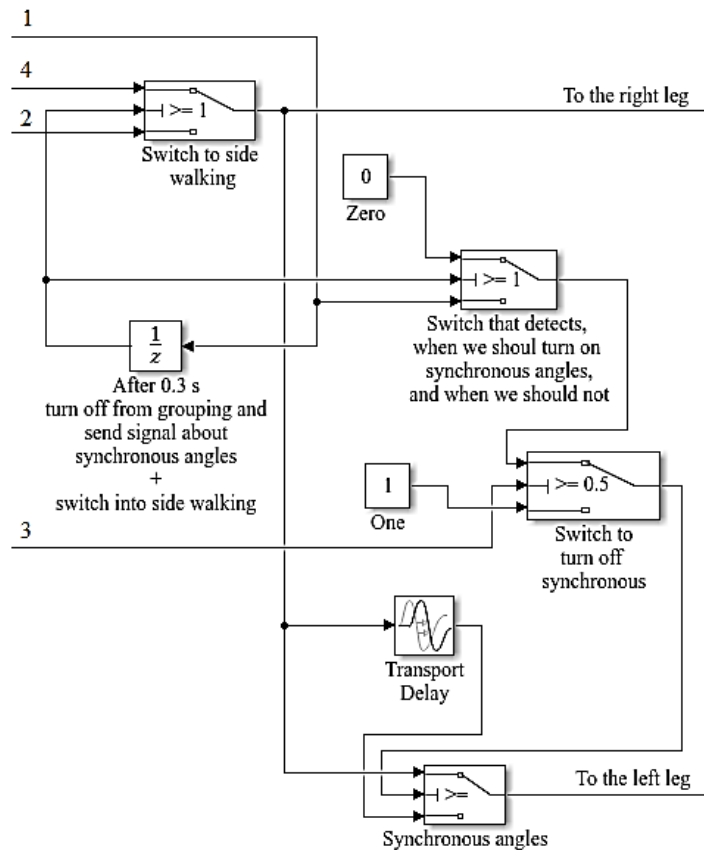


Рис. 5. Продовження ділянки з рис. 4

Відповідно до рис. 4 та рис. 5, алгоритм ходьби робота наступний:

1. На початку моделювання робот групується (Grouping) – займає позицію із зігнутими стопами, колінами та стегнами (-15° , 30° , -30° відповідно). Це триває 0.5 с і необхідно для кращої стійкості та рівноваги робота.

2. Робот виходить зі стану групування і починає йти вперед (Walking Forward).

3. Як тільки прив'язаний до перешкоди Transform Sensor фіксує відстань, що менша або дорівнює 1.3 м, робот знову переходить до стану Grouping на 0.2 с, після

чого починає рухатися ліворуч, користуючись можливостями, що надають 12 степенів свободи (Side Walking).

4. Коли робот покидає діапазон перешкоди – 1.3 м, він виходить зі стану Side Walking і переходить до Walking Forward, продовжуючи рух вперед.

Даний алгоритм реалізовано у середовищі Simulink переважно за рахунок блоків Switch, Delay та Repeating Table. На рис. 4 та рис. 5 можна знайти детальніший опис щодо того, як працює той чи інший блок і за що кожен відповідає. Результати моделювання на рис. 6.

На рис. 7 зображено відпрацювання скрипту, що згадувався у пункті 5 під час переліку нововведень моделі.

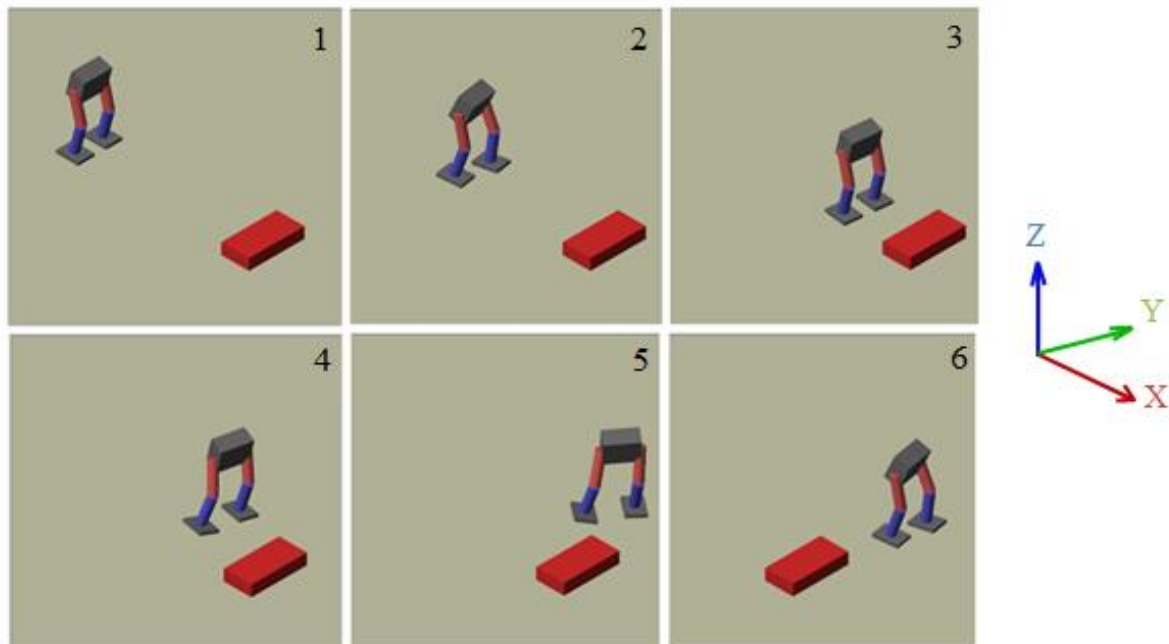


Рис. 6. Відпрацювання модернізованої моделі з крокуючим роботом, котрий обходить перешкоди (з позначеною послідовністю): 1 – робот прийняв позу Grouping, 2 – робот йде (Walking Forward), 3 – робот помітив перешкоду і прийняв позу Grouping, 4 та 5 – робот обходить перешкоду (Side Walking), 6 – робот закінчив обхід та йде прямолінійно (Walking Forward)

Як видно з рисунку 7, різка зміна коливань на графіку зумовлена тим, що робот розпізнав перешкоду та почав її обходити. Покази графіку стали стабільнішими

у момент, коли робот успішно обійшов перешкоду та продовжив рух відповідно до заданого початкового напрямку. При цьому середня швидкість робота становить приблизно 0.27 м/с.

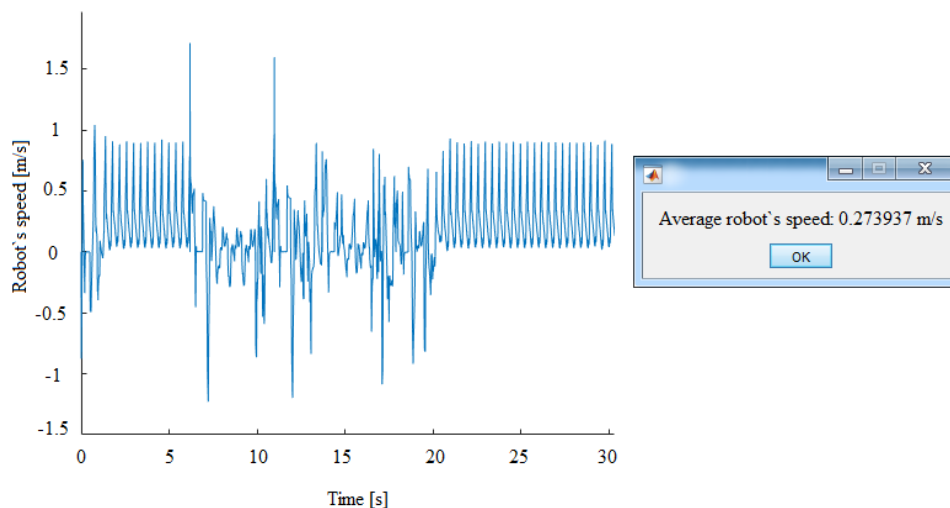


Рис. 7. Графік швидкості робота у кожен момент часу та повідомлення про обчислену середню швидкість робота

Висновки

У статті запропоновано нові функціональні можливості вже існуючої моделі двоногого крокуючого робота. Головні досягнення модернізованої моделі – вміння робота уникати зіткнення з перешкодами, а також володіння вагою та розмірами, що наближені до людських параметрів – мають види на використання робота у небезпечних для людини середовищах з різноманітними перешкодами. Дослідження модернізованої моделі крокуючого робота у MATLAB/Simulink, а також синтезований графік швидкості показали, що робот повністю виконує свою місію.

Література

1. Двунogie ходящие роботы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://robotrends.ru/robopedia/dvunogie-hodyashie-roboty>.

2. Обзор: шагающие роботы | Triol. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://triolcorp.ru/blog/post/obzor-shagayushchie-roboty>.

3. Wettergreen D. Robotic walking in natural terrain. Gait planning and behavior-based control for statically-stable walking robots : дис. докт. филос. наук / D. Wettergreen – Pittsburgh PA, 1995. – 134 p.

4. MATLAB and Simulink Robotics Arena: Walking Robot - File Exchange - MATLAB Central. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/64227-matlab-and-simulink-robotics-arena-walking-robot>.

5. Bräunl T. Embedded Robotics: Mobile Robot Design and Application with Embedded Systems, 3rd Ed. / T. Bräunl – New York: Springer Publishing, 2008. – P. 165-184.

6. Замараев В.А., Година Е.З., Никитюк Д. Б. Анатомия для студентов физкультурных вузов и факультетов: учебник и практикум для академического бакалавриата / В.А. Замараев, Е.З. Година, Д.Б. Никитюк. – М.: Издательство Юрайт, 2019. – 416 с.

Репнікова Н.Б., Сверчков В.А.

ВДОСКОНАЛЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ МОДЕЛІ КРОКУЮЧОГО РОБОТА

Розглядаються можливості вдосконалення існуючої моделі крокуючого двоногого робота у середовищі MATLAB/Simulink з метою наближення моделі до реальних параметрів людського тіла та надання їй здатності до уникнення перешкод.

Вдосконалений робот повторює стиль ходьби людини на зігнутих ногах. В ході модернізації використовуються вбудовані засоби середовища Simulink, а для обрахування та виведення додаткової апостеріорної інформації — інтерпретована мова програмування MATLAB. Запозичена модель була модернізована наступним чином: висота робота наближена до висоти комплексу нижніх кінцівок людини зі зростом 175 см і дорівнює 100 см, сумарна вага крокуючого робота дорівнює 172 кг, були впроваджені додаткові шість степенів свободи для надання більшої мобільності роботу, був реалізований скрипт для визначення швидкості робота. Також, була додана перешкода на шляху робота, було розроблено та пояснено алгоритм її уникнення з подальшим продовженням ходьби робота у початковому напрямку.

Ключові слова: *двоногий робот, крокуючий робот, модель двоногого робота, уникання перешкод, двоногий робот з наближеними до людських параметрами.*

Repnikova N.B., Sverchkov V.A.

IMPROVING THE FUNCTIONAL CAPABILITIES OF THE WALKING ROBOT MODEL

Possibilities of improving the existing model of a walking two-legged robot in the MATLAB/Simulink environment are considered in order to bring the model closer to the real parameters of the human body and give it the ability to avoid obstacles.

The upgraded robot repeats style of human`s walking on bent legs. During the modernization, the built-in tools of the Simulink environment are used, and for the calculation and output of additional a posteriori information — the interpreted programming language MATLAB. Existing model was upgraded as follows: height of the robot was approximated to the height of human lower limbs complex with a height of 175 cm and now is 100 cm, total weight of the walking robot is 172 kg, additional six degrees of freedom were introduced to provide greater mobility to the robot, a script was implemented to determine the speed of the robot. Also, an obstacle in the way of the robot was added, an algorithm for obstacle avoidance with the subsequent continuation of the robot's walk in the initial direction was developed and explained.

Keywords: *bipedal robot, walking robot, model of two-legged robot, obstacle avoidance, two-legged robot with close to human parameters.*