



UDC 004.5

**RESEARCH OF ROBOTIC DEVICE MOVEMENTS BY USING THE
COPPELIASIM PLATFORM**
**ERFORSCHUNG VON BEWEGUNGSMITTELN DER ROBOTERGERÄTE DURCH
VERWENDUNG DER COPPELIASIM-PLATTFORM**

Mykhailov E.P.,*d.t.s., Associate professor.*

ORCID: 0009-0008-8946-7999

Matveiko O.V.,*senior lecturer.***Borisov V.S.,***Postgraduate student***Sokolova A.S.***student**Polytechnische Nationaluniversität Odessa,**Odessa, Shevchenka Avenue, 1, 65044*

Abstrakt. In der vorliegenden Arbeit geht es um die Anwendungsmöglichkeit des kostenlosen Robotersimulators CoppeliaSim/V-REP zur Erforschung der Fortbewegungsmittel von Robotergeräten und wird auch die Roboter-Nutzung von den Studierenden während der Erfüllung der praktischen Aufgaben und Laborarbeiten behandelt.

Unter Bedingungen des Online-Studiums infolge des fehlenden Zugangs zu Laborständen bietet die CoppeliaSim-Plattform die Gelegenheit, praktische Erforschung mithilfe der Computerprojektierung und Modellierung von Robotergeräten durchzuführen.

Schlüsselwörter: Robotergeräte, computergestützte Projektierung, CoppeliaSim-Plattform, Laborarbeiten, Online-Studium.

Einführung

Heutzutage werden Werkzeuge zum Erlernen der Fächer während des Online-Studiums immer aktueller. Zum vollständigen Beherrschen des Lehrmaterials ist eine spezielle Software erforderlich, und in diesem Zusammenhang sind zusätzliche Anwendungen zu erwähnen, die es ermöglichen, Robotergeräte zu simulieren und vielfältige Varianten sowohl zur Erstellung als auch zur Steuerung von Robotern zu bieten, was die Erfüllung der Aufgabe bei fehlendem Zugang zu realer Ausrüstung erheblich erleichtert. Damit die Studierenden dieses Werkzeug erlernen können, sind entsprechende methodische Hinweise erforderlich, in denen alle Werkzeuge anzuführen sind und Schritt für Schritt erklärt wird, was man zum Erreichen des Resultats tun muss.

1. Analyse der Computermodellierung von Robotergeräten

Alle Roboterarten lassen sich bedingt in zwei Hauptgruppen einteilen und zwar es gibt universelle Roboter für verbreiteten Einsatz, die aus einzelnen unifizierten Knoten oder Modulen bestehen, und spezialisierte Roboter, die meist für die Ausführung begrenzter Funktionen geschaffen werden oder als Bestandteile für komplexe Produktionssysteme dienen, deswegen werden verschiedene automatisierte Systeme zur Projektierung und Modellierung eingesetzt[1].

Im erstgenannten Fall werden zur Roboterprojektierung am häufigsten automatisierte Projektierungssysteme verwendet, die für bestimmte Robotertypen



geeignet sind; beispielsweise wird der Softwarekomplex ABB Robot Studio [2] zur Projektierung und Modellierung von Robotern der Firma ABB benutzt. Der entsprechende Softwarekomplex wird zur Projektierung und Modellierung von KUKA-Robotern eingesetzt.

Im zweitgenannten Fall werden universelle Projektierungsmittel für einzelne Roboterkomponenten verwendet, die in mechanische Komponenten, Antriebe und andere Bewegungsmittel sowie Steuerungssysteme unterteilt werden können. Diese Mittel können aus Projektierungsmitteln für mechanische, elektromechanische und Softwarekomponenten bestehen. Am häufigsten werden solche Projektierungssoftwarekomplexe zur Projektierung wie SolidWorks, MathCAD, Matlab dafür gebraucht.

In den modernen Robotersystemen benutzt man häufig den Hardware- und Softwarekomplex Arduino, der über eine relativ große Anzahl von Mikrocontrollern, Steuermodulen für elektrische Antriebe und Informationsmodulen zur Bestimmung des Bewegungspfades, des Abstands zu Objekten, der Ausrichtung und Position des Roboters verfügt, die den Zustand sowohl des Roboters selbst als auch der äußeren Umgebung zu definieren ermöglichen.

Zur Projektierung und Modellierung wird der UnoArduSim-Simulator [3] gebraucht. Der Vorteil dieses Simulators besteht in der Möglichkeit, die Hardwarekomponenten des Roboters zu erstellen und die Ausführung des gefertigten Programms zu überprüfen. Der Nachteil liegt in der Begrenzung der Projektierung der mechanischen Komponenten.

Als ein Beispiel der Modellierung für verschiedene Roboter lässt sich der Robotersimulator V-REP/CoppeliaSim des Unternehmens Coppelia Robotics [4-5] anführen, der über die Bibliothek mit einer Vielzahl von Modellen der stationären und mobilen Roboter als auch der Zusatzausrüstung verfügt, und bietet eine Gelegenheit, ein Computermodell des Roboters im manuellen und automatischen Modus zu erstellen und zu testen. Außerdem ist es möglich, verschiedene Roboterkomplexe und deren Komponenten selbstständig zu erstellen.

2. Anwendungsmöglichkeiten der CoppeliaSim/V-REP-Plattform mit Zweck der Erforschung der Bewegungsmittel von Robotergeräten.

CoppeliaSim gebraucht ein kinematisches Triebwerk für Berechnungen der Vorwärts- und Umkehrkinematik sowie mehrere Bibliotheken zur physikalischen Modellierung, um Starrkörpersimulationen durchzuführen. Modelle und Szenen werden durch die Zusammenstellung verschiedener Objekte (Gitter, Verbindungen, verschiedene Sensoren, Punktwolken usw.) in eine hierarchische Struktur erstellt. Zu den zusätzlichen durch Plugins bereitgestellten Funktionen gehören: die Bewegungsplanung, die synthetische Vision und die Bildbearbeitung, die Kollisionserkennung, die Mindestabstandsberechnung, grafische Benutzeroberfläche und die Datenvisualisierung (z. B. mithilfe von Grafiken).

Das Ziel der Modellierung bei der Erstellung neuer Roboterlösungen hängt hauptsächlich vom Entwicklungsstand ab. Dabei kann es sich um Hypothesentests, eine Konstruktionsoptimierung und ein Softwaretesten handeln, die neue Algorithmen zur Verarbeitung sensorischer Informationen und der Verhaltenssteuerung sowie in späteren Phasen das Debuggen des Codes



implementieren, der vor seinem Start auf dem Controller der Manipulator-Workstation ausgeführt wird.

Es wird das Interface des Programms CoppeliaSim (V-REP) betrachtet. Das Hauptmenü verfügt über verschiedene Abschnitte, die Werkzeuge für die Bearbeitung verfügbarer und Hinzufügung neuer Objekte zum Simulationsszenario enthalten.

Ein Teil der Werkzeuge aus dem Hauptmenü ist auch im CoppeliaSim-Popup-Kontextmenü (V-REP) dupliziert. Die am häufigsten verwendeten Werkzeuge sind für einen schnellen Zugriff auf horizontale und vertikale Symbolleisten platziert.

Eines der wichtigsten Werkzeuge ist die Modellbibliothek. Standardmäßig ist dieses Werkzeug aktiv, aber kann durch Klicken auf das Symbol deaktiviert werden. Im aktiven Modus zeigt dieses Werkzeug eine Struktur der Ordner und Modelle an, von denen es tatsächlich eine große Anzahl gibt: mobile Roboter, Erfassungsgeräte und andere Einrichtungen, die für die Forschung oder den Aufbau von Roboterkomplexen verwendet werden können. Diese Modelle lassen sich bei Bedarf ganz einfach per Drag-and-Drop auf das Arbeitsfenster eingeben. Auf der Abbildung 1, a wird das Interface des CoppeliaSim-Programms mit dem Robotermodell ABB IRB 140 dargestellt. Objekte lassen sich ändern oder man kann neue Elemente hinzufügen. Auf der Abbildung 1, b wird ein Roboter mit zusätzlichen Schiebern zur manuellen Steuerung und der Barrett-Handgreifvorrichtung vorgestellt.

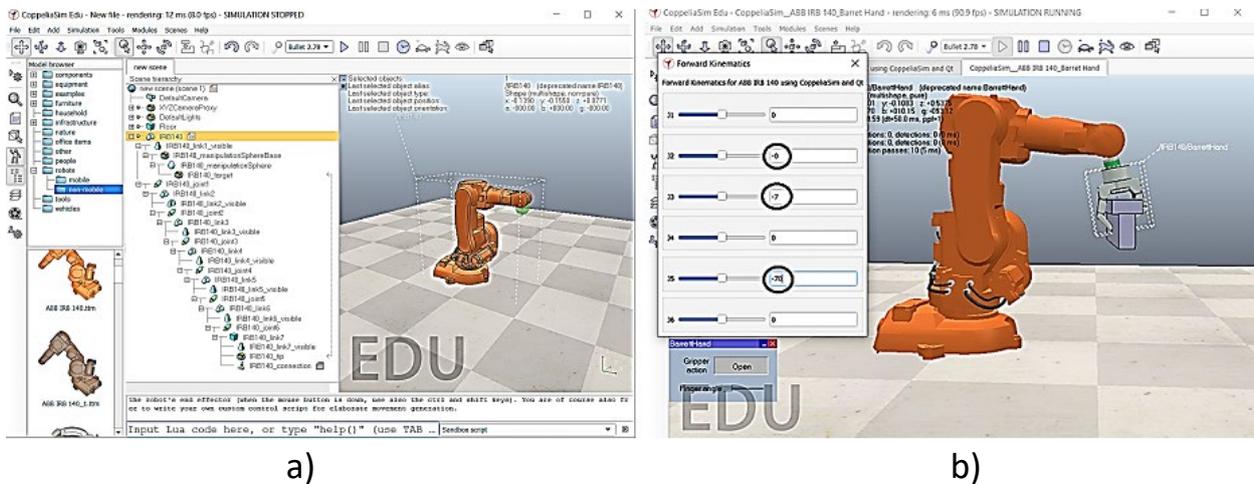


Abbildung 1 – CoppeliaSim-Programminterface (V-REP).

Als Schlüsselement dient die Objekthierarchie, die die Hauptbeziehungen zwischen den Skriptobjekten bestimmt. Außerdem können die Eigenschaften jedes Objekts durch Doppelklick der linken Maustaste auf das Symbol links neben dem Objektamen in der Szenenhierarchie geöffnet werden.

Mit einem Klick kann das gewünschte Element ausgewählt und anschließend das Tool „Szenenobjekteigenschaften“ («Scene Object Properties») aktiviert werden. Um Robotergeräte für die einfachsten Aufgaben zu erstellen, kann man solche Elemente wie „Primitive Shapes“ (Primitive Formen) für Roboterverbindungen und „Joint“ (Gelenke) für bewegliche Verbindungen [5] verwenden.

Als Gelenke gelten Objekte, die eine relative Bewegung zwischen Elementen ermöglichen. Es werden drei Arten von Gelenken benutzt: Drehgelenk(Revolute



joint) , Prismengelenk (Prismatic joint) und Kugelgelenk (Spherical joint).

Gelenkeigenschaften werden über das Dialogfeld Scene Object Properties (Szenenobjekteigenschaften) festgelegt, das sich in Menu bar --> Tools --> Scene object properties (Menüleiste -> Tools -> Szenenobjekteigenschaften) befindet. Gelenkdynamikeigenschaften werden durch das Add-on Joint Dynamics Properties (Gelenkdynamikeigenschaft) definiert, das mit der Taste Show dynamic properties dialog (Dialogfenster der dynamischen Eigenschaften anzeigen) geöffnet wird.

Eine der Schlüsselfunktionen, die in Form einer Objekthierarchie umgesetzt werden, ist die Verbindung von Systemkomponenten. Indem ein Objekt auf ein anderes gezogen wird, kann man eine Beziehung zwischen ihnen herstellen (eines davon zum „übergeordneten“ Objekt im Verhältnis zum anderen einsetzen).

3. Entwicklung von Beispielen zur Nutzung der CoppeliaSim/V-REP-Plattform für Durchführung von praktischen Aufgaben und Laborarbeiten

Die Abbildung 2 stellt ein Modell des Manipulators dar, das aus Elementen Primitive shape (Cylinder, Cuboid) und Revolute joint besteht.

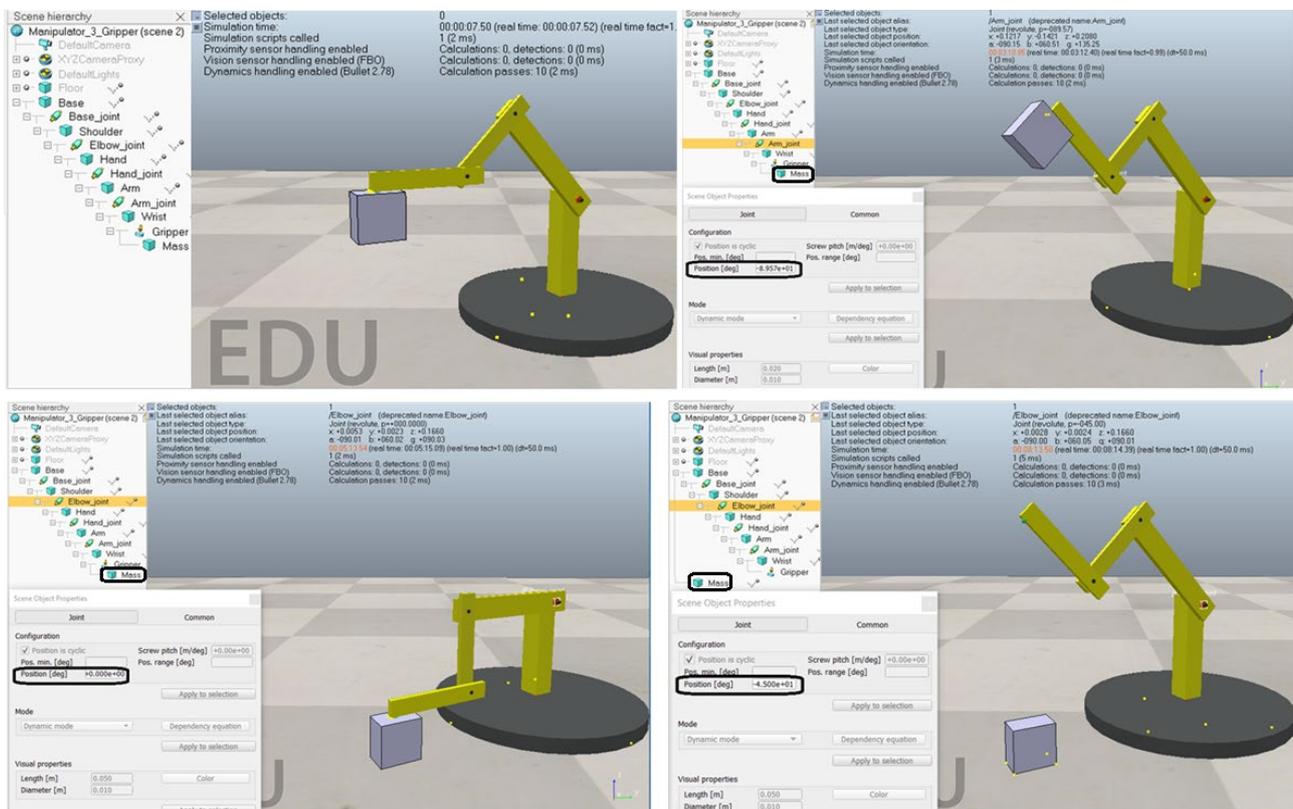


Abbildung 2 – Manipulatormodell

Um die Lastbewegung im Simulationsmodus durchzuführen, wird die Einstellung der entsprechenden Gelenkparameter im Fenster Scene Object Properties benutzt, in dem die Eigenschaften der Objekte festgelegt werden.

Durch die Veränderung der Ladungsmasse lässt sich die Untersuchung ihres Einflusses auf die Bewegungsparameter durchführen.

Zur Erforschung der Bewegung des Roboters im automatischen Modus ist das Modell des stationären Roboters Dobot Magician zu verwenden (Abbildung 3).

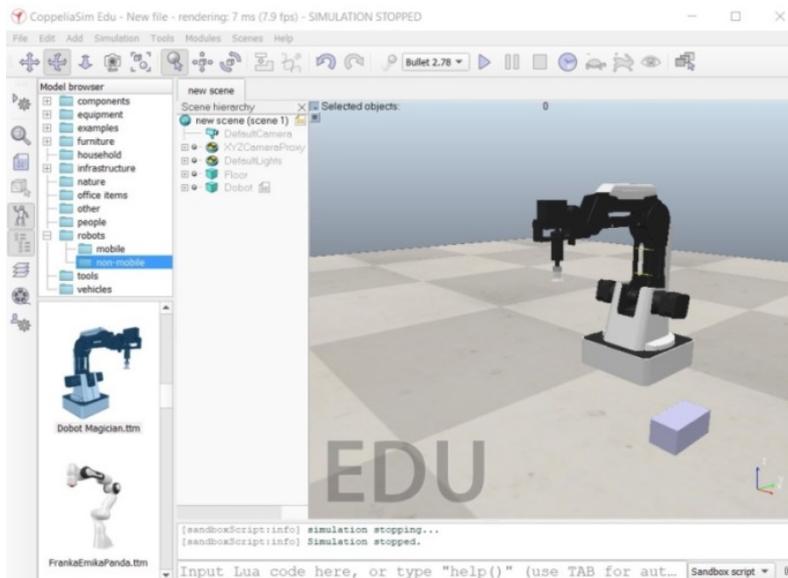


Abbildung 3 – Dobot Magician-Roboter

Quelle: [6]

Im Simulationsmodus führt dieser Roboter den folgenden Bewegungsablauf aus, nämlich das Drehen, das Greifen von Lasten, das Heben, das Senken, das Abwerfen von Lasten und das Rückkehren in die Ausgangsposition. Die Steuerung erfolgt durch die API-Funktion `moveToConfig`.

Auf der Abbildung 4 wird dargestellt, durch welche Elemente der Konfigurationsfunktion `moveToConfig` die Verschiebung und die Steuerung einzelner Verknüpfungen ausgeführt werden. Die Drehung wird in Grad relativ zur Ausgangsposition eingestellt.

Man kann durch die Festlegung der Parameter der Funktion `moveToConfig` die Bewegung des Roboters [6] ändern; aus diesem Grund wurde dieser Roboter ausgewählt, um die Robotersteuerung im automatischen Modus zu modellieren.

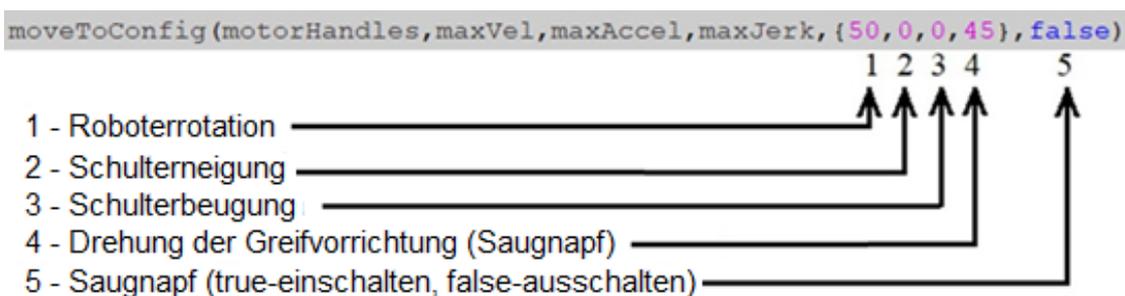


Abbildung 4 – Verschiebung und Steuerung einzelner Verknüpfungen

Quelle: [6]

Es werden die Möglichkeiten der Erforschung von Roboterkomplexen am Beispiel eines aus Robotern und Förderbändern bestehenden Produktionsbereichs untersucht.

Als Grundlage wird der Dobot Magician-Roboter genommen, für den ein Lastübertragungsprogramm erstellt wurde; ihm wird ein Förderer `generic conveyor` (efficient) angefügt und werden die Positionsparameter bestimmt, die es ermöglichen,



eine Last darauf zu installieren (Abbildung 5).



Abbildung 6 – Installation eines Förderers generic conveyor (efficient)

Um eine konstante Lastkreisbewegung zu erreichen, werden dem angeführten Projekt eines aus Robotern und Förderbändern bestehenden Produktionsbereichs einen weiteren Roboter und ein Förderband hinzugeführt. Man erhält die relative Position der Elemente des Produktionsbereichs, was auf der Abbildung 6 dargestellt ist.

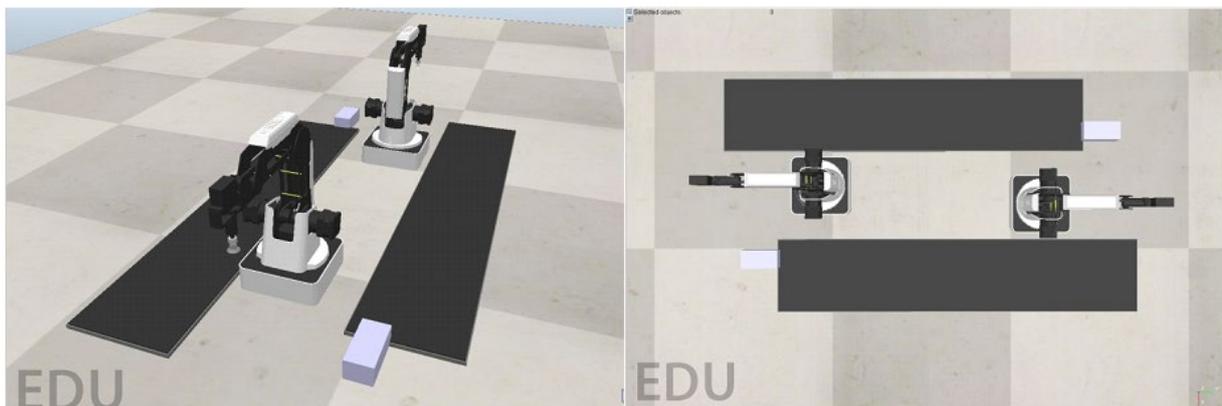


Abbildung 6 – Die gegenseitige Position der Elemente des Produktionsbereichs

Ebenso kann man komplexere Produktionsbereiche erstellen.

Zur Forschung der Bewegung der mobilen Roboter lässt sich das Modell des mobilen Roboters KUKA YouBot [6, 7] (Abbildung 7, a) gebrauchen, welches im Simulationsmodus die folgenden Bewegungen aufweist:

`setMovement(0,0.5,0)` – die Bewegung nach rechts

`sim.wait(10)` – die Verzögerung von 10 Sekunden, legt die Bewegungsdauer fest

`setMovement(0,0,0.5)` – die Drehung im Uhrzeigersinn

Entsprechend der Analyse des angeführten Fragments wurde die Übereinstimmung der Parameter mit der Bewegungsrichtung definiert (Abbildung 7, b).

Durch die Festlegung des Bewegungsablaufs und der Verzögerung kann man die Bewegungsrouten des mobilen Roboters bestimmen.

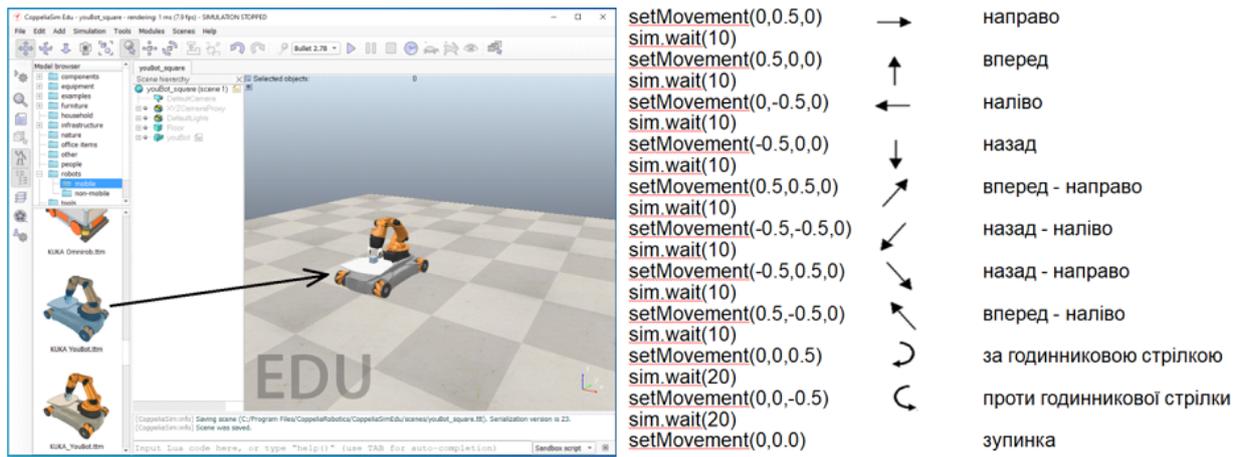


Abbildung 7 – Modell des mobilen Roboters KUKA YouBot (a) und Übereinstimmung der Parameter mit der Bewegungsrichtung (b)

Quelle: [6]

Es ist möglich, durch das Ändern des Steuerskripts, eine Bewegung entlang der Bahn „Kreis“ mit den entsprechenden Parameterwerten der Bewegungsfunktion `setMovement(0,2,1)` (Abbildung 8, a) und `setMovement(2, 0,1)` (Abbildung 8, b) sowie entlang der Bahn „Quadrat“ (Abbildung 8, c) zu modellieren.

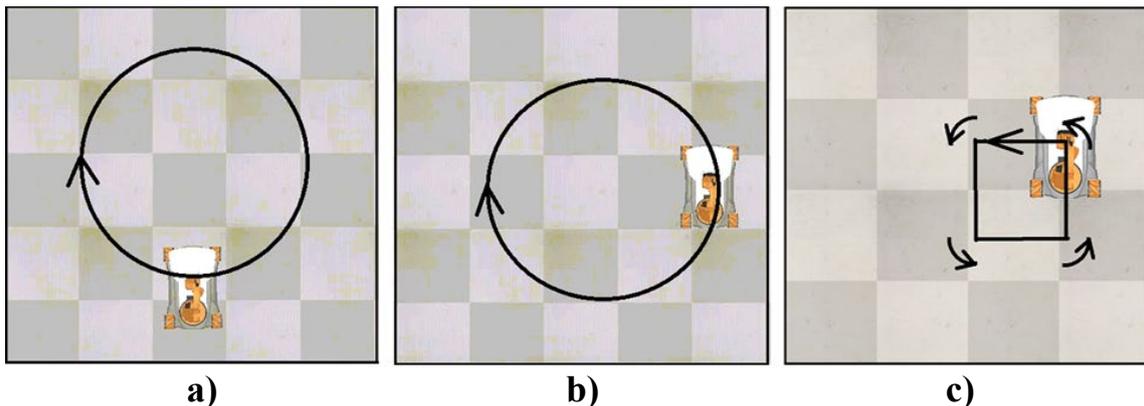


Abbildung 8 – Bewegung entlang der Bahn „Kreis“ (a, b) und „Quadrat“ (c).

Quelle: [7]

Zur Bewegung entlang der Bahn „Quadrat“ kann man folgende Änderung am Bewegungssteuerungsskript des mobilen Roboters [6] vornehmen:

```

for i=0,3,1 do
    setMovement(0,0.5,0) – die Bewegung nach rechts
    sim.wait(20)
    setMovement(0,0,-0.505) – die Drehung gegen den Uhrzeigersinn
    sim.wait(24)
    setMovement(0,0,0)
end
    
```

Die Analyse der Bewegungsskripts für andere Modelle ermöglicht, die Erforschung anderer Roboter aus der Bibliothek durchzuführen, und dank der Ausnutzung zusätzlicher Geräte, zum Beispiel, der Förderbänder, entsteht die Gelegenheit, verschiedene robotertechnische Komplexe zu erstellen.



Zusammenfassung

Die durchführende Analyse vorhandener Mittel zur Projektierung und Modellierung von Robotergeräten hat ergeben, dass die virtuelle Plattform für experimentelle Roboterforschung CoppeliaSim / V-REP am besten für Online-Studium mit Zweck der Untersuchung verschiedener Robotergeräte geeignet ist, da sie über umfangreiche Möglichkeiten zur Modellierung sowohl der stationären als auch der mobilen Roboter verfügt.

Es werden Beispiele bezüglich der Erstellung von Robotermodellen zur Erforschung ihres Einsatzes im manuellen und automatischen Modus angeführt, was den Einsatz solcher Modelle bei der Erfüllung der praktischen Aufgaben und Laborarbeiten ermöglicht.

Literatur

1. Комп'ютерне конструювання елементів машин. Навчальний посібник для здобувачів бакалаврів: / Укл.: Михайлов Є. П. Одеса: Одеська політехніка, 2023. 233 с.

2. RobotStudio® Suite. Visualize your ideas and reduce commissioning time
URL: <https://new.abb.com/products/robotics/robotstudio>

3. UnoArduSim. **URL:**
<https://sites.google.com/site/unoardusim/home?authuser=0>

4. Coppelia Robotics. **URL:** <https://www.coppeliarobotics.com/>

5. CoppeliaSim User Manual **URL:**
<https://www.coppeliarobotics.com/helpFiles/index.html>

6. Розробка засобів для проведення практичних та лабораторних занять з робототехнічними пристроями в умовах дистанційного навчання / Є. П. Михайлов, В. М. Лінгур, В. С. Борисов, О. С. Панфіленко, К. С. Махновський // SWorldJournal. - 2023. - Iss. 20, Part 1. - P. 21-28.

7. Дослідження алгоритмів та обладнання для переміщення мобільних роботів за допомогою комп'ютерного моделювання / Є. П. Михайлов, В. М. Лінгур, Д. С. Антихович, О.П. Василенко // Modern engineering and innovative technologies. - 2023. - Iss. 29, Part 1. - P. 3-11.