

## Formulari- F2



### UNIVERSITETI I PRISHTINËS "HASAN PRISHTINA" UNIVERSITY OF PRISHTINA

Rr. Xhorxh Bush, Ndërtesa e Rektoratit, 10 000 Prishtinë, Republika e Kosovës  
Tel: +381 38 244 183 • E-mail: rektorati@uni-pr.edu • www.uni-pr.edu

Nr. Prot.: 1393

Datë: 25/08/2025

### RAPORT VLERËSIMI TË DORËSHKRIMIT TË PUNIMIT TE DIPLOMES MASTER

FAKULTETI	Fakulteti i Inxhinierisë Mekanike
Departamenti/ Programi	Mekatronikë
Projektpropozimi	"Identifikimi i objekteve dhe gjetja e pozicionit përmes teknikave të AI me robotin CR5"
Kandidati	BSc. Arjeta Hoti
Mentori	Prof. Asoc. Dr. Xhevahir Bajrami
Aprovimi i projekt propozimit në Këshillin e Fakultetit	Datë: 02.05.2024
	Vendimi nr.: 632/3-3
Vlerësimi i dorëshkrimit	
Në bazë të vendimit nr. 632/3-3 të datës 02.05.2024 , të Këshillit të Fakultetit të Inxhinierisë Mekanike në Prishtinë, është formuar komisioni në përbërje:	
<ol style="list-style-type: none"><li>1. <b>Prof. Dr. Arbnor Pajaziti</b>, kryetar</li><li>2. <b>Prof. Dr. Ahmet Shala</b>, anëtar</li><li>3. <b>Prof. Asoc. Dr. Xhevahir Bajrami</b>, mentor</li></ol>	
Për vlerësimin e punimit Master me titull " <b>Identifikimi i objekteve dhe gjetja e pozicionit përmes teknikave të AI me robotin CR5</b> " të kandidatës <b>Arjeta Hoti</b> .	
Pas shqyrtimit të punimit të lartpërmendur, Komisioni jep këtë:	
<b>R A P O R T</b>	
Punimi Master " <b>Identifikimi i objekteve dhe gjetja e pozicionit përmes teknikave të AI me robotin CR5</b> " është një punim që trajton projektimin dhe implementimin e një sistemi vizion-robot që integron metodat e inteligjencës artificiale me robotikën bashkëkohore. Sistemi është zhvilluar në mënyrë që të mundësojë detektimin e objekteve në kohë reale, përcaktimin e	

## Formulari- F2

koordinatave të tyre dhe dërgimin e këtyre koordinatave te roboti bashkëpunues CR5 për manipulim automatik.

### **Hyrje**

Në hyrje paraqitet rëndësia e studimit, duke theksuar se përdorimi i kamerave 3D dhe teknikave të AI në robotikë është një fushë me potencial të madh për automatizimin industrial dhe kërkimin shkencor. Objektivi i punimit është krijimi i një sistemi të integruar që lidh vizionin kompjuterik me kontrollin robotik në mënyrë funksionale.

### **Përdorimi i AI dhe vizionit kompjuterik**

Janë analizuar konceptet kryesore të inteligjencës artificiale dhe aplikimi i saj për detektimin e objekteve. Në këtë kuadër është zgjedhur algoritmi **YOLOv3**, i cili siguron shpejtësi dhe saktësi të lartë në detektimin në kohë reale. Përdorimi i kamerës **Intel RealSense D435i** ofron informacion të kombinuar RGB dhe thellësie, duke mundësuar gjenerimin e koordinatave tredimensionale të qendrës së objektit

### **Robotika dhe Dobot CR5**

Në këtë pjesë është trajtuar përshkrimi i robotit bashkëpunues CR5, specifikat teknike, parametrat e sigurisë dhe fleksibiliteti i tij në përdorime laboratorike. Gjithashtu, janë analizuar bazat e kinematikës direkte dhe inverse për robotin, duke përdorur parametrat Denavit–Hartenberg dhe implementimin në MATLAB.

### **Integrimi i sistemit vizion–robot**

Kapitulli kryesor i punimit përshkruan procesin e integrit të kamerës me robotin. Është zhvilluar një **GUI** që shërben si ndërfaqe për marrjen e të dhënave nga kamera, përpunimin e tyre, kalibrimin kamera–robot, si dhe dërgimin e komandave të lëvizjes te roboti CR5. Përdorimi i matricës së transformimit siguroi që koordinatat e përfituara nga kamera të konvertohen saktë në sistemin e robotit.

### **Rezultatet praktike**

Testimet e realizuara treguan se sistemi ishte i aftë të identifikonte objektet, të gjente pozicionin e tyre dhe të udhëzonte robotin për t'i kapur dhe vendosur në destinacionin e paracaktuar. Demonstrimet e pick-and-place përmes GUI-së u ekzekutuan me sukses. U evidentua se saktësia e përgjithshme varet nga kalibrimi korrekt i sistemit dhe kushtet optike të mjedisit, dhe struktura e ndërtuar funksionoi në mënyrë të qëndrueshme.

## Formulari- F2

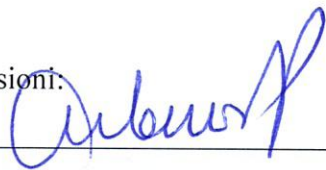
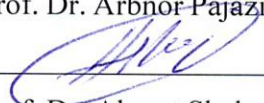
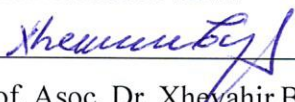
### P Ë R F U N D I M

Punimi, i mbështetur në punën e kryer dhe rezultatet e fituara, konsiderohet i suksesshëm dhe me objektiva të arritur. Analizat, figurat dhe eksperimentet e paraqitura tregojnë qartë vlefshmërinë dhe funksionalitetin e sistemit vizion–robot.

Komisioni për Vlerësimin e punimit Master vlerëson se punimi me titull “Identifikimi i objekteve dhe gjetja e pozicionit përmes teknikave të AI me robotin CR5”, i përgatitur nga kandidatja e Masterit Arjeta Hoti, është realizuar me përkushtim dhe qartësi, duke sjellë rezultate të dukshme praktike. Prandaj, i propozohet Fakultetit të Inxhinierisë Mekanike në Prishtinë që ky punim të miratohet për diskutim publik dhe mbrojtje zyrtare.

Prishtinë, 25/08/2025

Komisioni:

1.   
Prof. Dr. Arbnor Pajaziti – kryetar
2.   
Prof. Dr. Ahmet Shala – anëtar
3.   
Prof. Asoc. Dr. Xhevahir Bajrami – mentor

**UNIVERSITETI I PRISHTINËS “HASAN PRISHTINA”**

**FAKULTETI I INXHINIERISË MEKANIKE**

**PROGRAMI STUDIMOR: MEKATRONIKE**

**DEPARTAMENTI: MEKATRONIKE**

**NIVELI: MASTER**



## **PUNIM DIPLOME**

### **IDENTIFIKIMI I OBJEKTEVE DHE GJETJA E POZICIONIT PËRMES TEKNIKAVE TË AI ME ROBOTIN CR5**

**Mentori: Prof. Asoc. Dr. Xhevahir Bajrami**

**Kandidatja: BSc. Arjeta Hoti**

**Prishtinë, [2025]**

**UNIVERSITETI I PRISHTINËS “HASAN PRISHTINA”**

**FAKULTETI I INXHINIERISË MEKANIKE**

**PROGRAMI STUDIMOR: MEKATRONIKE**

**DEPARTAMENTI: MEKATRONIKE**

**NIVELI: MASTER**



**MASTER THESIS**

**OBJECT DETECTION AND POSITION ESTIMATION USING  
AI TECHNIQUES WITH THE CR5 ROBOT**

**Mentori: Prof. Asoc. Dr. Xhevahir Bajrami**

**Kandidatja: BSc. Arjeta Hoti**

**Prishtinë, [2025]**

## **PËRMBAJTJA:**

ABSTRAKT .....	10
ABSTRACT .....	11
1. Hyrja .....	12
1.1 Robotika dhe rëndësia e saj në industri.....	13
1.1.1 Klasifikimi i robotëve .....	13
1.1.2 Aplikimet e robotëve.....	14
1.2 Përdorimi i AI për identifikimin e objekteve.....	15
1.2.1 Aplikimet e inteligjencës artificiale .....	16
1.2.2 Përparësitë dhe disavantazhet e inteligjencës artificiale .....	16
2. MACHINE VISION .....	17
2.1 Rëndësia e kamerave 3D në robotikë.....	17
2.2 Parimet themelore të kapjes së imazhit.....	18
2.3 Aplikimet e kamerave 3D – DEPTH CAMERA .....	18
2.3.1 Thellësia STEREO.....	19
2.3.2 Teknologjia e kamerave REALSENSE .....	20
2.3.3 PARIMI I PUNËS SË KAMERAVE REALSENSE .....	21
2.4 Kamera INTEL REALSENSE D435i.....	22
2.6 Përdorimi i OPENCV .....	23
2.6.1 Instalimi dhe zhvillimi i aplikacioneve.....	24
2.7 Detektimi i objekteve.....	25
2.7.1 Rëndësia e detektimit të objekteve .....	26
2.8 Algoritmi YOLOV8 – (YOU ONLY LOOK ONCE) .....	26
2.8.1 <i>CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK</i> .....	27
2.8.2 Kombinimi i tre teknikave .....	29
3. Përshkrimi i serisë DOBOT CR.....	31
3.1 Përshkrimi i DOBOT CR5.....	31
3.1.1 Specifikat teknike të trupit të robotit .....	32
3.1.2 Dimensionet e trupit të robotit .....	33
3.1.3 Hapësira e punës së robotit .....	33
3.1.4 Parametrat e sigurisë të DOBOT-IT CR5 .....	34
3.1.5 Përbërësit kryesorë të sistemit robotik.....	34
3.1.5.1 Butonat e ndaljes dhe dritat treguese .....	36
3.1.5.2 Funkcionet e butonit te ndaljes .....	37

3.1.5.3	Kontrolleri.....	37
3.1.5.4	Sistemi i koordinatave.....	38
4.	Analiza kinematike .....	40
4.1	Kinematika direkte.....	41
4.2	Kinematike direkte për DOBOTIN CR5 .....	43
4.3	Implementimi i kinematikës direkte në matlab.....	48
4.4	Kinematika inverse .....	52
5.	Analiza e robotit në matlab përmes simscape.....	55
6.	Integrimi dhe programimi i sistemit vizion–robot për ekzekutimin e detyrave në kohë reale .	60
6.1	KONFIGURIMI FIZIK .....	60
6.3	Kalibrimi i kamerës dhe i sistemit vizion–robot.....	61
6.3.1	Mbledhja e të dhënave .....	63
6.3.2	Matrica e transformimit .....	64
6.4	Procesi i detektimit, transformimit dhe manipulimit të objekteve me vizion–robot .....	67
7.	PËRFUNDIMI .....	72
	LITERATURA .....	73

## LISTA E FIGURAVE:

Figura 1. Robotët manipulatorë [37].....	13
Figura 2. Robotët Mobil [38], [39] .....	14
Figura 3. Ndarja ndërmjet Inteligjencës Artificiale, Mësimi i makinerive(Machine Learning) dhe Mësimi i thellë(Deep Learning) [4] .....	15
Figura 4. Pamja e kamerës në dy imazhe.....	19
Figura 5. Thellësia Stero - llogaritja e thellësis [11].....	20
Figura 6. Llojet e kamerave D435i dhe D415 [12].....	21
Figura 7. Diagrami i metodës së matjes së thellësisë krahas thellësisë dhe distancës [23] .....	21
Figura 8. Intel RealSense Depth Camera D435i [40] .....	22
Figura 9. Specifikat e kamerës D435i [41] .....	22
Figura 10. Skema dimensionale e kamerës Intel RealSense D435i [15] .....	23
Figura 11. Arkitektura e rrjetit konvencional-Conventional Neural Network.....	27
Figura 12. Grid dimensions.....	27
Figura 13. Bounding box .....	28
Figura 14. Mbivendosja e kutive - Box Overlap.....	28
Figura 15. Rrjeta neurale konvokucional i vetëm.....	29
Figura 16. Gjetja dhe dallimi i objekteve [20].....	29
Figura 17. Seria e Dobotit CR [21].....	31
Figura 18. Dimensionet e trupit të robotit CR5 dhe kontrollorit [21].....	33
Figura 19. Hapësira e punës së robotit [21] .....	34
Figura 20. Përbërësit kryesor të sistemit robotik CR.....	35
Figura 21. Terminali i operimit [21].....	35
Figura 22. Roboti CR [21].....	36
Figura 23. Butonat e ndaljes dhe dritat treguese të End effector-it [21].....	36
Figura 24. Pamja e kontrolluesit [21] .....	38
Figura 25. Sistemi i koordinatave të njeve.....	38
Figura 26. Sistemi i koordinatave të përdoruesit	Figura 27. Sistemi i koordinatave të veglës .....
[21].....	39
Figura 28. Shenja e pikës fillestare [21]	Figura 29. Singulariteti i Dobot CR5
[21].....	39
Figura 30. Paraqitja skematike e kinematikës së drekte dhe asaj inverse [24], .....	41
Figura 31. Shembull për të ilustruar Nyjet, Lidhjet, Mjetin Fundor, Zinxhirët Kinematikë .....	42
Figura 32. Përcaktimi i sistemit të koordinatave për një manipulues të përgjithshëm .....	42
Figura 33. Dimensionet e Robot CR5.....	43
Figura 34: Struktura dhe vendosja e sistemeve të koordinatave për Dobotin CR5 .....	44
Figura 35. Simulimi i krahut robotik në MATLAB duke përdorur parametrat aktualë .....	49
Figura 36. Konfigurimi i krahut robotik me anë të lëvizjes së njeve 1, 2, dhe 3 .....	50
Figura 37. Konfigurimi i krahut robotik me anë të lëvizjes së të gjitha njeve.....	50
Figura 38. Pamje 3D dhe Projektimet XY, XZ, YZ të Kinematikës Direkte të Robotit .....	51
Figura 39. Pamje 3D dhe Projektimet XY, XZ, YZ të Kinematikës Direkte të Robotit me kënde të ndryshme.....	52
Figura 40. Sistemet koordinative dhe boshtet e lëvizjes së robotit CR5 .....	54
Figura 41. Doboti Cr5 ne Solid Works .....	55
Figura 42. Hapi i parë për importimin në Matlab .....	56
Figura 43. Hapi i dytë për importimin në Matlab .....	56

Figura 44. Hapi i tretë për importimin në Matlab.....	57
Figura 45. Eksportimi i suksesshëm në matlab.....	57
Figura 46. Folderi me dokumentet e eksportuara të DOBOT CR5 .....	58
Figura 47. Blloqet e krijuara nga Simscape për 3D modelin e robotit .....	58
Figura 48. Simulimi ne matlab.....	59
Figura 49. Trajektorja e deshiruar dhe pozicioni i arritur permes matlab .....	59
Figura 50. Pozita e integritimit kamera–robot për detyrat e 'pick and place' .....	62
Figura 51. Pamje nga aplikacioni i vizionit (YOLOv8 + D435i) me objekt të detektuar dhe distancë. ....	62
Figura 52. Paneli i kontrollit të CR5 (DobotStudio Pro) gjatë regjistrimit të pozave të robotit...	63
Figura 53. Rezultati në terminal pas ekzekutimit të kodit — matrica e transformimit kamera→bazë. ....	65
Figura 54. Pamja e GUI-së pas zëvendësimit të matricës dhe ekzekutimit të kodit.....	66
Figura 55. Detektimi i objektit, përgatitja e robotit për lëvizje dhe roboti duke u pozicionuar mbi objektin .....	67
Figura 56. Vendosja e gripper-it mbi objektin para kapjes dhe kapja e objektit nga gripper-i ....	68
Figura 57. Ngritja e objektit nga sipërfaqja e punës .....	68
Figura 58. Zhvendosja e objektit drejt destinacionit të përcaktuar dhe lëshimi i objektit dhe përfundimi i procesit pick-and-place .....	69
Figura 59. Pamja përfundimtare e GUI-së, ku raportohet suksesi i plotë i ekzekutimit të dy cikleve pick-and-place pa asnjë dështim.....	70

#### LISTA E TABELAVE:

Tabela 1. Fusha e shikimit e serisë D [15].....	23
Tabela 2. Specifikimet e thellësisë së serisë D [15].....	23
Tabela 3. Parametrat teknike të trupit të robotit [21].....	32
Tabela 4. Gjendja e sinjalizuesve të dritës [21] .....	37
Tabela 5. Parametrat e Denavit Hartenbergut per Dobotin Cr5.....	44
Tabela 6.1: Çiftet e koordinatave të mbledhura (kamera në mm, robot në mm). ....	63

## LISTA E SHKURTESAVE

Shkurtimi	Përkufizimi
AI	<i>Artificial Intelligence</i> – Inteligjenca Artificiale
TCP/IP	<i>Transmission Control Protocol / Internet Protocol</i> – Protokolli i komunikimit kompjuterik
GUI	<i>Graphical User Interface</i> – Ndërfaqe Grafike e Përdoruesit
ML	<i>Machine Learning</i> – Mësimi i Makinës
DL	<i>Deep Learning</i> – Mësimi i Thellë
CNN	<i>Convolutional Neural Network</i> – Rrjet Nervor Konvolucional
RGB	<i>Red Green Blue</i> – Modeli i ngjyrave bazë
RGBD	<i>Red Green Blue + Depth</i> – Ngjyra dhe Thellësia
SDK	<i>Software Development Kit</i> – Pako Zhvillimore Softuerike
ROS	<i>Robot Operating System</i> – Sistemi Operativ i Robotit
D435i	Modeli i kamerës Intel RealSense me IMU
IMU	<i>Inertial Measurement Unit</i> – Njësi Matëse Inerciale
FOV	<i>Field of View</i> – Fushëpamja
USB 3.0	<i>Universal Serial Bus 3.0</i> – Port komunikimi i shpejtë
STEP	<i>Standard for the Exchange of Product Data</i> – Format për shkëmbimin e të dhënave CAD
XML	<i>Extensible Markup Language</i> – Gjuhë për strukturimin e të dhënave
YOLO	<i>You Only Look Once</i> – Algoritëm për detektimin e objekteve në kohë reale
IoU	<i>Intersection over Union</i> – Matje e mbivendosjes së kutive kufizuese
DOF	<i>Degree of Freedom</i> – Shkallë Lirie
DH	<i>Denavit-Hartenberg</i> – Parametra për modelimin kinematik të robotëve
Home Posture	Pozicioni fillestar i robotit kur të gjitha nyjet janë në kënd 0°
MATLAB	<i>Matrix Laboratory</i> – Mjedis llogaritës dhe simulimi
Simscape smimport	Mjedis simulimi fizik në MATLAB Funksion i MATLAB për importimin e modeleve nga CAD

<b>Istq</b>	<i>Least Squares</i> – Metodë për përshtatje numerike
-------------	---

#### LISTA E SIMBOLEVE

<b>Simboli</b>	<b>Përkufizimi</b>
$\theta_i$	Këndi i nyjës së i-të (gradë / radian)
$d_i$	Zhvendosja e nyjës së i-të përgjatë boshtit z
$a_i$	Gjatësia e lidhjes midis dy nyjeve
$\alpha_i$	Këndi i rrotullimit ndërmjet dy boshtave z të njëpasnjëshëm
$T_i$	Matrica homogjene e transformimit të nyjës i
<b>R</b>	Matrica e rotacionit 3×3
<b>p</b>	Vektori i pozicionit [px, py, pz]
<b>P-wc</b>	Pozita e qendrës së kyçit (wrist center)
<b>T-base-cam</b>	Matrica e transformimit nga kamera në bazën e robotit
<b>p-cam</b>	Koordinatat e pikës në kornizën e kamerës
<b>p-base</b>	Koordinatat e pikës në kornizën e bazës së robotit

## ABSTRAKT

Ky punim paraqet ndërtimin e një sistemi praktik që bashkon robotikën me inteligjencën artificiale për identifikimin dhe lokalizimin e objekteve. Si platformë robotike është përdorur Dobot CR5, një robot i përshtatshëm për aplikime laboratorike dhe industriale. Për perceptimin vizual është përdorur kamera Intel RealSense D435i, e cila ofron njëkohësisht imazhe me ngjyra (RGB) dhe të dhëna të thellësisë, duke mundësuar krijimin e një pamjeje tredimensionale të mjedisit.

Identifikimi i objekteve në kohë reale realizohet me modelin YOLOv8, një nga metodat më të avancuara të inteligjencës artificiale për vizionin kompjuterik. Pas detektimit, qendra e çdo objekti përkthehet në koordinata 3D. Këto koordinata, pas kalibrimit mes kamerës dhe robotit, shndërrohen në sistemin e referencës së robotit dhe përdoren si objektiva për lëvizje.

Është ndërtuar një *pipeline* softuerik në gjuhën Python duke përdorur bibliotekat OpenCV dhe pyrealsense2, i cili mundëson komunikim përmes TCP/IP me robotin dhe ofron një ndërfaqe grafike (GUI). Përmes kësaj ndërfaqeje, përdoruesi mund të aktivizojë kamerën, të shohë objektet e detektuara dhe të komandojë robotin të kryejë automatikisht procedurat *pick-and-place*.

Testet laboratorike treguan se sistemi i ndërtuar arrin saktësi të mjaftueshme për manipulim dhe përkthen në mënyrë të qëndrueshme informacionin vizual në lëvizje të robotit. Kontributet kryesore të këtij punimi përfshijnë zhvillimin e një arkitekture të integruar vizion-robot që mund të riprodhohet nga studiues të tjerë, një procedurë kalibrimi të thjeshtë dhe të zbatueshme në kushte laboratorike, si dhe krijimin e një ndërfaqeje intuitive dhe praktike që e bën sistemin të përdorshëm jo vetëm për eksperimente, por edhe për aplikime industriale me kompleksitet të ulët deri mesatar.

## **ABSTRACT**

This thesis presents the development of a practical system that combines robotics with artificial intelligence for object identification and localization. The robotic platform used is the Dobot CR5, a collaborative robot suitable for both laboratory and industrial applications. For visual perception, the Intel RealSense D435i camera was employed, providing both RGB images and depth data, thereby enabling the creation of a three-dimensional representation of the environment.

Real-time object detection is carried out using the YOLOv8 model, one of the most advanced artificial intelligence methods in computer vision. After detection, the center of each object is translated into 3D coordinates. These coordinates, once calibrated between the camera and the robot, are converted into the robot's reference system and used as motion targets.

A complete software pipeline was developed in Python using the OpenCV and pyrealsense2 libraries, which enables TCP/IP communication with the robot and provides a graphical user interface (GUI). Through this interface, the user can activate the camera, visualize the detected objects, and command the robot to automatically execute pick-and-place procedures.

Laboratory experiments demonstrated that the system achieves sufficient accuracy for manipulation and reliably translates visual information into robotic motion. The main contributions of this work include the development of an integrated vision-robot architecture that can be reproduced by other researchers, a simple and applicable calibration procedure for laboratory conditions, and the creation of an intuitive and practical interface that makes the system usable not only for experiments but also for industrial applications of low to medium complexity.

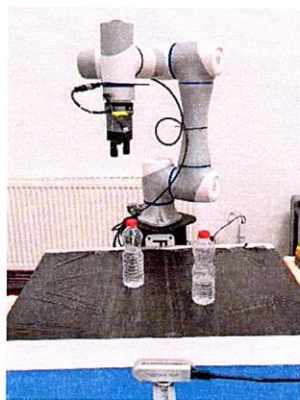
## 6. Integrimi dhe programimi i sistemit vizion–robot për ekzekutimin e detyrave në kohë reale

Qëllimi i këtij kapitulli është të paraqesë integrimin e sistemit të vizionit me robotin Dobot CR5 për ekzekutimin në kohë reale të detyrave të manipulimit. Kamera Intel RealSense D435i është e montuar fikse përballë robotit. Sistemi i vizionit identifikon objektet me YOLOv8, i deprojekton qendrat e tyre në koordinata tredimensionale dhe i transformon në kornizën bazë të robotit, duke mundësuar gjenerimin e pikave të synimit. Roboti më pas ekzekuton sekuençën standarde të *pick-and-place* (afrimi, kapja dhe vendosja në pozicionin e përcaktuar). Zgjidhja është implementuar në Python, duke përdorur OpenCV dhe pyrealsense2. Menaxhimi i komandave realizohet përmes një GUI-je, e cila mundëson hapjen e kamerës, regjistrimin e objekteve të detektuara dhe nisjen e robotit për *pick-and-place*. Kamera Intel RealSense D435i është një pajisje vizuale 3D e avancuar, e cila kombinon një sensor RGB, sensorë të thellësisë dhe një njësi të matjes inerciale (IMU). Ky konfigurim e bën kamerën të përshtatshme për aplikime të ndryshme në fushat e robotikës, realitetit të shtuar, navigimit autonom, dhe detyrave të automatizuara që kërkojnë perceptim hapësinor të mjedisit.

Për ta funksionalizuar këtë pajisje në sistemin operativ Windows, ajo lidhet me kompjuterin përmes portës USB 3.0, duke garantuar transmetim të shpejtë dhe të qëndrueshëm të të dhënave. Më pas, instalohet paketa Intel RealSense SDK 2.0, e cila përmban drejtuesit (drivers), mjetet e zhvillimit, si dhe aplikacionin RealSense Viewer që mundëson konfigurimin, vizualizimin dhe testimin e flukseve të të dhënave në kohë reale.

### 6.1 KONFIGURIMI FIZIK

Kamera Intel RealSense D435i është e montuar në mënyrë fikse përballë robotit Dobot CR5; të dy komponentët mbeten të palëvizshëm gjatë operimit. Zona e punës së robotit mbivendoset me fushën e pamjes së kamerës, në mënyrë që objektet e detektuara të jenë të arritshme nga TCP. Kornizat e referencës të përdorura janë:  $\{base\}$  (baza e robotit),  $\{cam\}$  (kamera),  $\{tcp\}$  (mjeti/*Tool Center Point*) dhe  $\{obj\}$  (objekti). Orientimet aksiale ndiqen sipas konventës së djathtë: +Zbase lart, +Xbase drejt përpara robotit dhe +Ybase majtas (siç shihet nga baza). Koordinatat e llogaritura në  $\{cam\}$  transformohen në  $\{base\}$  përmes matricës  $T_{base}^{cam}$ .



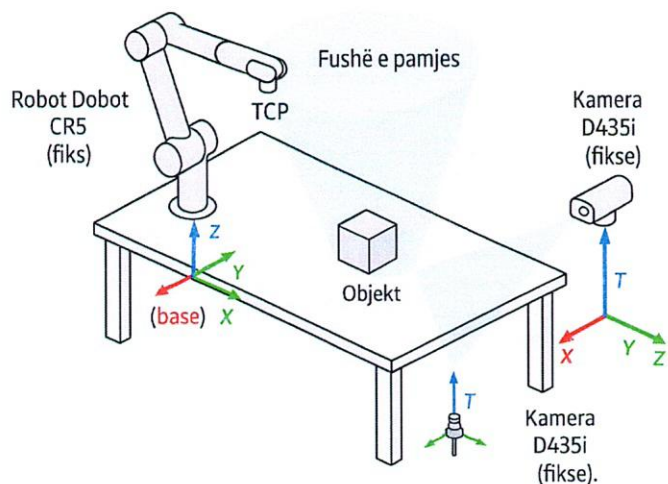


Figura 6.1. Konfigurimi fizik i sistemit vizion-robot.”)

### 6.3 Kalibrimi i kamerës dhe i sistemit vizion-robot

Qëllimi i kalibrimit është të përcaktohet transformimi rigid që shndërron koordinatorët e pikave të matur nga kamera  $\{cam\}$  në koordinatorë të bazës së robotit  $\{base\}$ , në mënyrë që objektet e detektuar të jenë të arritshme nga TCP:

$$p_{base} = T_{base}^{cam} p_{cam}, \quad T_{base}^{cam} = \begin{bmatrix} R & t \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, R \in SO(3), t \in \mathbb{R}^3 \quad (17)$$

Kamera Intel RealSense D435i vendoset fikse përballë robotit Dobot CR5 edhe roboti është fikse gjatë matjeve.

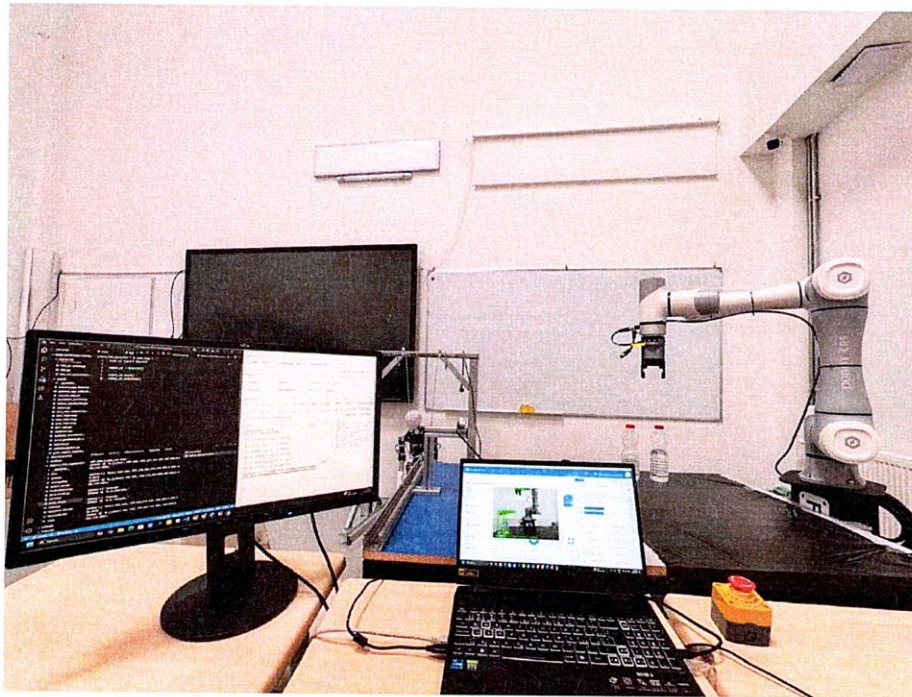


Figura 50. Pozita e integritit kamera-robot për detyrat e 'pick and place'

Në tavolinë zgjidhen pesë pika reference (të dukshme dhe të shpërndara gjeometrikisht) mbi të cilat kamera mat koordinatat 3D, ndërsa roboti jep pozat përkatëse në  $\{base\}$ .

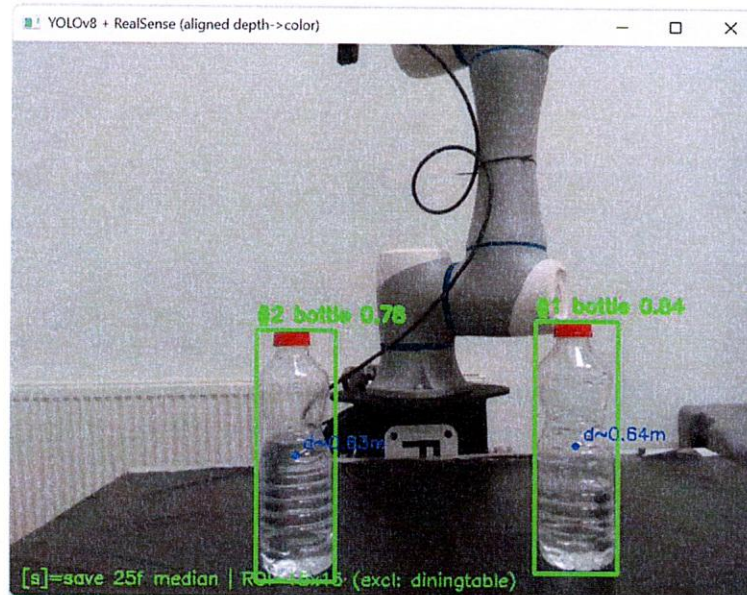


Figura 51. Pamje nga aplikacioni i vizionit (YOLOv8 + D435i) me objekt të detektuar dhe distancë.

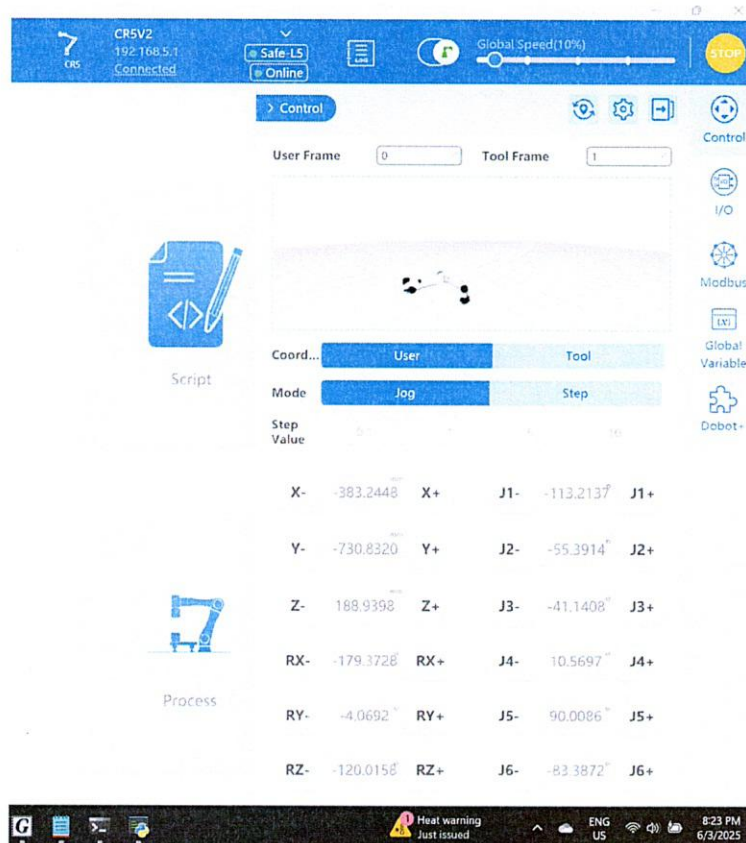


Figura 52. Paneli i kontrollit të CR5 (DobotStudio Pro) gjatë regjistrimit të pozave të robotit

### 6.3.1 Mbledhja e të dhënave

Për secilën pikë Pi regjistrohen dy vektorë:

$$p_{cam}^{(i)} = [X_c, Y_c, Z_c]^T \text{ nga D435i, në metra (konvertohen në mm).}$$

$$p_{cam}^{(i)} = [X_b, Y_b, Z_b]^T \text{ nga roboti (Teach Mode / GetPose), në mm.}$$

Tabela 6.1 paraqet pesë çifte pikash kalibrimi (P1-P5). Për çdo pikë janë shënuar koordinatat tredimensionale të matura nga kamera D435i dhe koordinatat korresponduese të lexuara nga roboti CR5. Pikat janë zgjedhur të shpërndara në tavolinë dhe në thellësi, që transformimi të vlerësohet me stabilitet dhe pa kolinearitete.

Tabela 6.1: Çiftet e koordinatave të mbledhura (kamera në mm, robot në mm).

Pika	Kamera $[X_c, Y_c, Z_c][X_c, Y_c, Z_c]$ mm	Roboti $[X_b, Y_b, Z_b][X_b, Y_b, Z_b]$ mm
P1	[100.0, 110.0, 660.0]	[-383.24, -730.83, -188.94]
P2	[100.0, 120.0, 890.0]	[-216.26, -573.58, -187.88]
P3	[-80.0, 120.0, 750.0]	[-420.54, -527.60, -194.86]
P4	[-10.0, 240.0, 890.0]	[-216.26, -573.58, -187.88]

P5	$[-190.0, 130.0, 870.0]$	$[-426.45, -377.23, -192.46]$
----	--------------------------	-------------------------------

Në listimin e mëposhtëm janë futur të dhënat eksperimentale të kalibrimit: koordinatat 3D të pikave të matura nga kamera D435i në kornizën e saj dhe koordinatat korresponduese të lexuara nga roboti CR5 në bazën e tij; të dyja palët janë unifikuar në milimetra. Vektorët nga kamera janë zgjeruar me një komponent konstant për formën homogjene dhe, duke përdorur funksionin `lstsq` të `SciPy`, është zgjidhur përshtatja me katrorët më të vegjël që lidh këto pika. Nga zgjidhja ndërtohet matrica homogjene  $4 \times 4$   $T_{\text{base}}^{\text{cam}}$ , e cila përkufizon transformimin kamera  $\rightarrow$  bazë dhe shërben si bllok thelbësor për konvertimin e koordinatave të objekteve të detektuara (YOLOv8 + D435i) në objektiva lëvizjeje për robotin. Llogaritja është realizuar tërësisht në Python (`NumPy/SciPy`), dhe matrica e rezultatit printohet për verifikim dhe ruhet në konfigurim për t'u përdorur në ekzekutimin e procedurave *pick-and-place*.

```
import numpy as np
from scipy.linalg import lstsq

# Pikat nga kamera (mm)
X_cam = np.array([
    [100.0, 110.0, 660.0],
    [100.0, 120.0, 890.0],
    [-80.0, 120.0, 750.0],
    [-10.0, 240.0, 890.0],
    [-190.0, 130.0, 870.0]
], dtype=float)

# Pikat korresponduese në bazën e robotit (mm)
X_robot = np.array([
    [-383.24, -730.83, -188.94],
    [-216.26, -573.58, -187.88],
    [-420.54, -527.60, -194.86],
    [-216.26, -573.58, -187.88],
    [-426.45, -377.23, -192.46]
], dtype=float)

# Forma homogjene për kamerën
X_cam_h = np.hstack([X_cam, np.ones((X_cam.shape[0], 1))]) # (N x 4)

# Zgjidhja LS për matricën 4x3 (pa rreshtin e fundit)
M, _, _ = lstsq(X_cam_h, X_robot) # (4 x 3)
T_base_cam = np.vstack([M.T, [0, 0, 0, 1]]) # (4 x 4)

np.set_printoptions(precision=6, suppress=True)
print("T_base^cam =\n", T_base_cam)
```

Pas futjes së koordinatave nga Tabela 6.1 në skriptin Python (kamera dhe roboti në mm) dhe ekzekutimit të kodit në terminal, u gjenerua matrica e transformimit kamera  $\rightarrow$  bazë. Rezultati shfaqet si “Matrica  $T_{\text{cam\_to\_robot}} = \dots$ ” dhe përmban pjesën e rrotullimit (blloku  $3 \times 3$ ) dhe vektorin e zhvendosjes (kolona e fundit). Këtë matricë e ruajmë në konfigurim dhe e përdorim më pas për të kthyer koordinatat 3D të objekteve të detektuara nga kamera në koordinata të kuptueshme nga roboti CR5 gjatë operacioneve *pick-and-place*.

### 6.3.2 Matrica e transformimit

- Tre kolonat e para: pjesa e rrotullimit (R).

- Kolona e fundit: zhvendosja (t) në mm nga kamera te baza e robotit.

Kjo matricë përdoret për të kthyer koordinatat 3D të objekteve nga kamera në koordinata të kuptueshme nga CR5.

```

1 import numpy as np
2 from scipy.linalg import lstsq
3
4 # Pozitat nga kamera (mm)
5 X_cam = np.array([
6     [100.0, 110.0, 660.0],
7     [100.0, 120.0, 890.0],
8     [-80.0, 120.0, 750.0],
9     [-10.0, 240.0, 890.0],
10    [-190.0, 130.0, 870.0]
11 ])
12
13 # Pozitat nga roboti (mm)
14 X_robot = np.array([
15     [-383.24, -730.83, -188.94],
16     [-216.26, -573.58, -187.88],
17     [-420.54, -527.60, -194.86],
18     [-216.26, -573.58, -187.88],
19     [-426.45, -377.23, -192.46]
20 ])
21
22 # Konverto X_cam në forme homogjene (shto 1-shin)
23 X_cam_h = np.hstack([X_cam, np.ones((X_cam.shape[0], 1))])
24
25 # Zgjidh me least-squares
26 T_matrix, _, _, _ = lstsq(X_cam_h, X_robot)
27
28 # Krijo matricen 4x4

```

```

PROBLEMS OUTPUT DEBUG CONSOLE TERMINAL PORTS
PS C:\Users\hotia\Desktop\OPEN CV PYTHON TUTORIAL> & 'c:\Program Files\Python310\python.exe' 'c:\Users\hotia\.vscode\extensions\ms-python.de
buggy-2025.8.0-win32-x64\bundle\libs\debugpy\launcher' '53556' '--' 'c:\Users\hotia\Desktop\OPEN CV PYTHON TUTORIAL\assets\Matrica_Transform
imit.py'
Matrica T_cam_to_robot =
[[ 0.670209  0.629782  0.663413 -951.206463]
 [ -0.766129 -0.693557  0.693927 -1832.418604]
 [ 0.021275  0.016664  0.019363 -200.878113]
 [ 0.         0.         0.         1.        ]]
PS C:\Users\hotia\Desktop\OPEN CV PYTHON TUTORIAL>

```

Figura 53. Rezultati në terminal pas ekzekutimit të kodit — matrica e transformimit kamera→bazë.

Pasi u përftua matrica e transformimit kamera→bazë, vlerat u inkorporuan në kodin e aplikacionit (skedari *ui.py*), duke zëvendësuar matricën provuese të përdorur gjatë zhvillimit. Si rrjedhojë, çdo koordinatë 3D e raportuar nga D435i konvertohet automatikisht në kornizën {base} përpara gjenerimit të pikave të afrimit dhe komandave të lëvizjes. Projekti u ekzekutua dhe u nis ndërfaqja grafike (GUI), e cila shfaq *stream*-in e kamerës, liston objektet e detektuara me koordinatat në {base} dhe mundëson funksionet *Open Camera*, *Save/Load Objects*, *Pick ONE* dhe *Pick ALL*. Regjistri i *Python Debug Console* konfirmoi ngarkimin e suksesshëm të matricës dhe inicializimin e lidhjes me CR5, duke dëshmuar se sistemi operon me parametrat e kalibrimit të përditësuar.

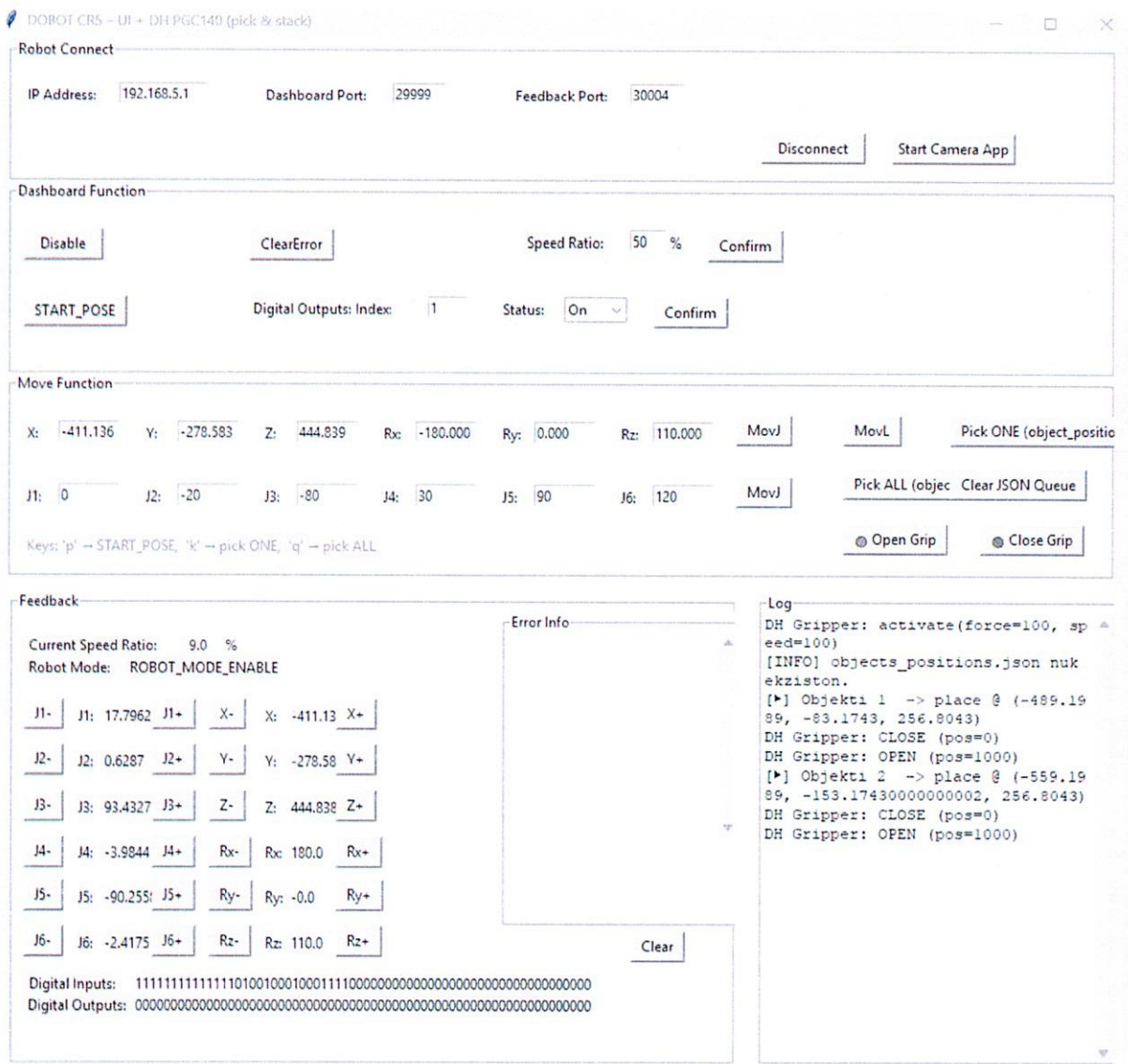


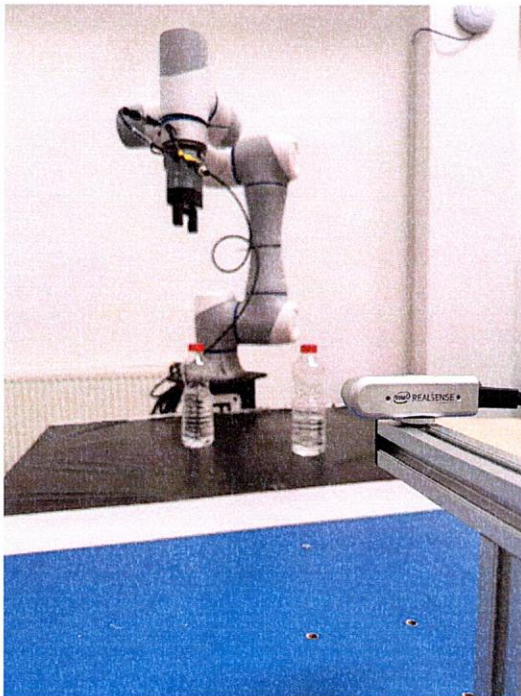
Figura 54. Pamja e GUI-së pas zëvendësimit të matricës dhe ekzekutimit të kodit

Figura 54 paraqet ndërfaqen grafike të aplikacionit të kontrollit për robotin Dobot CR5 me griperin DH PGC140 gjatë një ekzekutimi *pick-and-stack*. Në pjesën e sipërme shihen parametrat e lidhjes me kontrolluesin e robotit (IP 192.168.5.1, porta 29999 për *dashboard* dhe 30004 për *feedback*). Blloku “*Dashboard Function*” lejon çaktivizimin e gabimeve dhe vendosjen e *Speed Ratio*; ndërsa “*Move Function*” jep pozën karteziante të TCP-së (X, Y, Z, Rx, Ry, Rz), këndet e artikulacioneve (J1–J6) dhe butonat për MovJ/MovL, si edhe komandat e procesit *Pick ONE*, *Pick ALL* dhe *Open/Close Grip*. Paneli “*Feedback*” pasqyron gjendjen *ROBOT\_MODE\_ENABLE*, vlerën aktive të shpejtësisë (9.0%) dhe pozat aktuale; dritarja “*Error Info*” është bosh, që nënkupton mungesë gabimesh. Në qendër shfaqet njoftimi “Përfundoi” me rezultatin *Pick-all*: Suksese 2, Dështime 0, çka tregon se cikli i plotë i kapjes dhe vendosjes është përfunduar me katër objekte pa dështime. Në anën e djathtë, regjistri i ekzekutimit dokumenton hapat për secilin objekt

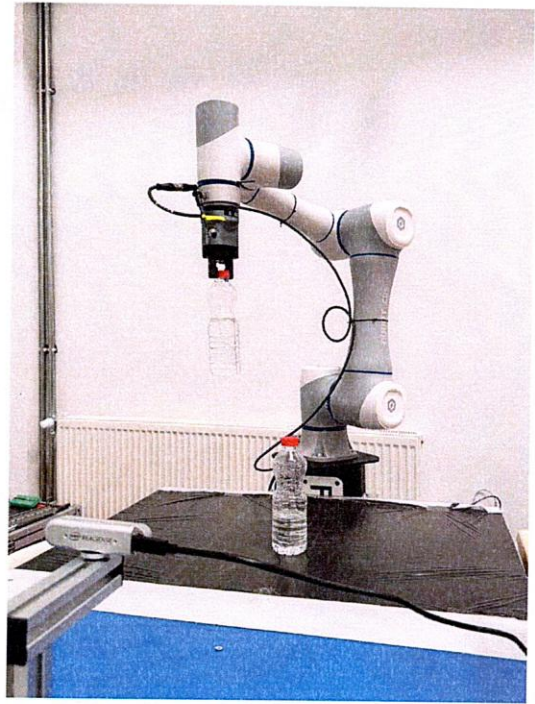
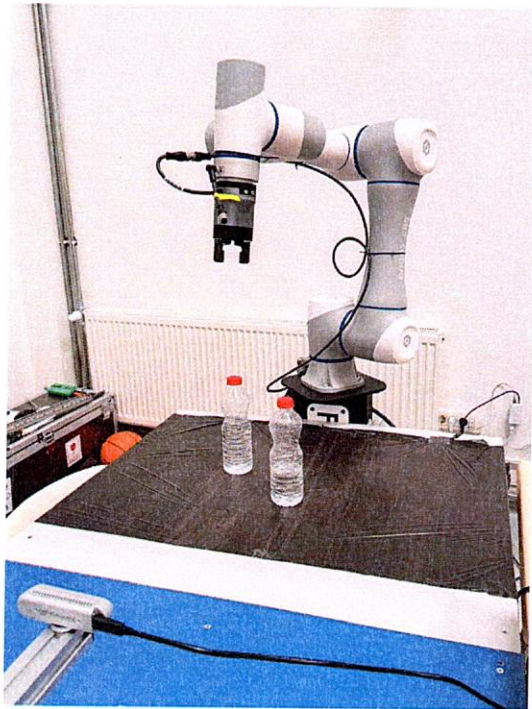
(koordinatat e vendosjes dhe urdhrat *OPEN/CLOSE* të *gripper-it*), duke dëshmuar se *pipeline-i* vizion → transformim koordinatash → lëvizje e robotit funksionon sipas pritjes.

#### **6.4 Procesi i detektimit, transformimit dhe manipulimit të objekteve me vizion–robot**

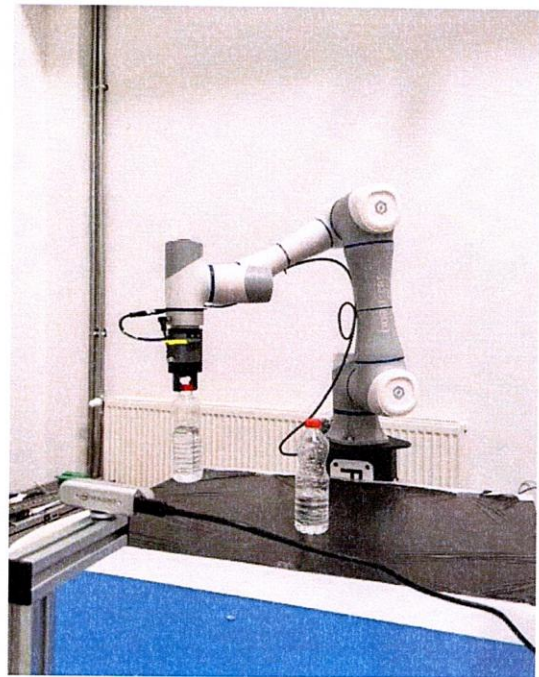
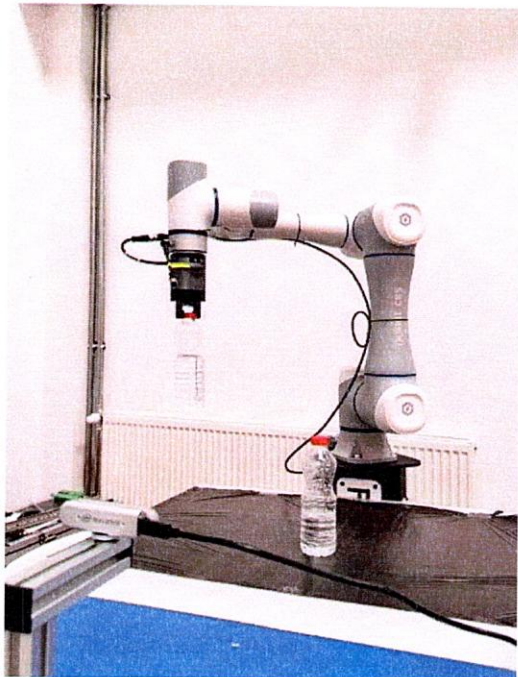
Procesi i manipulimit të objektit përmes integritimit vizion–robot zhvillohet në disa hapa të njëpasnjëshëm. Fillimisht, kamera Intel RealSense D435i, e vendosur përballë robotit, detekton objektin në sipërfaqen e punës dhe përmes të dhënave RGB dhe të thellësisë (depth) përcakton koordinatat tredimensionale të qendrës së tij. Këto koordinata ruhen në skedarët JSON dhe, përmes matricës së kalibrimit  $T_{base\_camT\_base\_cam}$ , transformohen nga sistemi i kamerës në sistemin e koordinatave të robotit Dobot CR5. Në këtë mënyrë, roboti ka mundësi të lëvizë saktësisht drejt pikës së përcaktuar.



*Figura 55. Detektimi i objektit, përgatitja e robotit për lëvizje dhe roboti duke u pozicionuar mbi objektin*



*Figura 56. Vendosja e gripper-it mbi objektin para kapjes dhe kapja e objektit nga gripper-i*



*Figura 57. Ngritja e objektit nga sipërfaqja e punës*

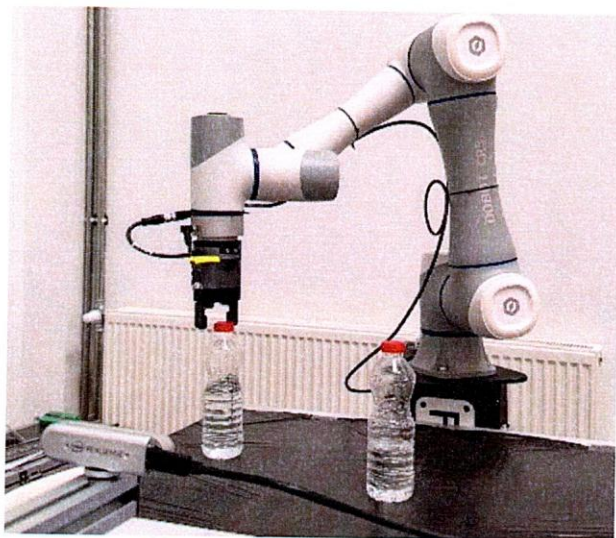


Figura 58. Zhvendosja e objektit drejt destinacionit të përcaktuar dhe lëshimi i objektit dhe përfundimi i procesit pick-and-place

Në GUI-në e zhvilluar në Python, përdoruesi kishte mundësi të zgjidhte komandën *Pick ONE* ose *Pick ALL*, në varësi nëse kërkohet manipulimi i një objekti të vetëm apo i disa objekteve në sekuencë. Pas nisjes së ekzekutimit, roboti lëviz drejt koordinatave të përcaktuara, pozicionon efektorin fundor mbi objekt dhe aktivizon gripper-in DH PGC-140 për ta kapur me forcë të kontrolluar. Pasi objekti është kapur, roboti kryen ngritjen nga tavolina dhe e zhvendos në një pikë të re vendosjeje. Në fazën përfundimtare, ekzekutohet urdhri OPEN Grip për të liruar objektin në destinacionin e caktuar. Ky eksperiment demonstroi qartë se zinxhiri i plotë i veprimeve – nga detektimi i objektit, transformimi i koordinatave, lëvizja e robotit dhe deri te komandimi i gripper-it – funksionon në mënyrë të sinkronizuar. Në përfundim të ciklit, GUI gjeneroi një mesazh informues me përmbledhjen e rezultatit: “*Pick-all: Suksese 2, Dështime 0*”. Siç shihet në Fig. X, roboti përfundoi dy operacione “pick-and-place” me sukses të plotë dhe pa asnjë dështim. Ky rezultat dëshmon saktësinë e transformimit të koordinatave dhe funksionalitetin praktik të sistemit vizion-robot, duke verifikuar aftësinë e tij për të manipuluar objekte reale në mjedisin e punës.



Klikoni dy herë mbi ikonën e objektit, videoja e bashkëngjitur “ Demonstrim i procesit *pick-and-place* me integrim vizion–robot (D435i + Dobot CR5)” demonstroi funksionimin e plotë të sistemit vizion–robot të përshkruar në Kapitullin 6: kamera Intel RealSense D435i e montuar fikse përballë robotit Dobot CR5, detektimi i objekteve me YOLOv8 dhe llogaritja e thellësisë, konvertimi i koordinatave në kornizën {*base*} përmes matricës së kalibrimit, si dhe ekzekutimi i procedurave *pick-and-place* përmes GUI-së. Gjatë videos shihen kornizat e detektimit dhe vlerat e thellësisë në ekran, listimi i koordinatave të objektit në {*base*}, komandat e *gripper-it* (*OPEN/CLOSE*) dhe rrjedha “*Pick ONE/ALL*”, së bashku me njoftimet e statusit që konfirmojnë përfundimin e suksesshëm të cikleve të kapjes dhe vendosjes. Videoja shërben si provë vizuale e integritetit dhe besueshmërisë së sistemit në kushte reale laboratorike.

## 7. PËRFUNDIMI

Ky punim dëshmoi se kombinimi i inteligjencës artificiale me kamerën *Intel RealSense D435i* dhe robotin Dobot CR5 përbën një zgjidhje efikase për automatizimin e detyrave të identifikimit dhe manipulimit të objekteve. Sistemi i ndërtuar u programua në mënyrë që të përfshinte të gjitha hallkat e nevojshme: nga detektimi i objekteve në kohë reale përmes modelit YOLOv8, deri te llogaritja e thellësisë me D435i, kalibrimi kamera-robot, transformimi i koordinatave në sistemin  $\{base\}$  dhe ekzekutimi i komandave të lëvizjes nga roboti CR5.

Një pjesë thelbësore e punës ishte programimi i vetë kamerës, ku u realizuan lidhjet softuerike për marrjen dhe përpunimin e të dhënave 3D. Po ashtu, u zhvillua një GUI funksionale (ndërfaqe grafike) që mundësoi kontrollin praktik të gjithë sistemit, duke integruar vizionin kompjuterik me komandimin e robotit. Ky integrim u testua në mënyrë të plotë dhe u vërtetua se komunikimi ndërmjet kamerës dhe robotit funksionoi pa ndërprerje, duke siguruar një cikël të plotë *vizion* → *koordinata 3D* → *lëvizje robotike*. Demonstrimet eksperimentale konfirmuan ekzekutimin e saktë dhe të qëndrueshëm të detyrave *pick-and-place* në skenarët e testuar.

Rezultatet treguan se saktësia e përgjithshme e sistemit varet kryesisht nga kalibrimi i duhur dhe vendosja e qëndrueshme e kamerës D435i, ndërsa faktorë të jashtëm si ndriçimi i mjedisit dhe sipërfaqet reflektuese ndikojnë në stabilitetin e matjeve të thellësisë. Megjithatë, struktura e ndërtuar u tregua funksionale dhe e besueshme, duke përmbushur me sukses objektivat e temës. Shembujt praktikë të realizuar treguan qartë se kamera detekton me saktësi objektet, koordinatat konvertohen siç duhet në sistemin e robotit dhe roboti CR5 i kapte dhe i vendoste objektet me efikasitet, duke provuar plotësisht vlefshmërinë e sistemit të zhvilluar

## LITERATURA

- [1]. F. C. P. a. Kevin M. Lynch, *Modern Robotics - Mechanics, Planning, and Control*, Cambridge University Press, May 3, 2017.
- [2]. Day, C.-P. (n.d.). *Robotics in Industry — Their Role in Intelligent Manufacturing*. Foxconn Technology Group, Shenzhen 518110, China.
- [3]. Yadav, S. D., & Bunde, C. (n.d.). Importance of robotic technology in different fields. Prof. Ram Meghe Institute of Technology & Research (PRMITR).
- [4]. Iskandar, H. (2019). Artificial intelligence application for objects identification (Degree project, Second Cycle, 30 credits). Vehicle Engineering, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden
- [5]. Howse, Joseph, Prateek Joshi, and Michael Beyeler. *OpenCV: Computer Vision Projects with Python*. Learning Path, Packt Publishing Ltd., 2016.
- [6]. Mohamad, M., Mohd Saman, M. Y., & Hitam, M. S. (2015). A review on OpenCV. Department of Computer Science, Faculty of Science and Technology, Universiti Malaysia Terengganu (UMT), Mengabang Telipot, 21030 Kuala Terengganu, Terengganu Darul Iman.
- [7]. Singh, S., Ton Devi, M., & Kalita, K. (n.d.). Object detection using artificial intelligence: A review. Assam Downtown University, Department of Computer Science and Engineering, Assam, India.
- [8]. Khanzode, K. Chhaya A., & Sarode, R. D. (2020). ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND MACHINE LEARNING: A LITERATURE REVIEW. *International Journal of Library & Information Science (IJLIS)*, 9(1), 30-36.
- [9]. Corke, P. I. (n.d.). Visual control of robots: High-performance visual servoing. CSIRO Division of Manufacturing Technology, Australia.
- [10]. Tadic, V., Odry, A., Kecskes, I., Burkus, E., Kiraly, Z., & Odry, P. (n.d.). Application of Intel RealSense cameras for depth image generation in robotics. Institute of Informatics, University of Dunaujvaros, Tancsics Mihaly u. 1/A Pf.: 152, 2401, Dunaujvaros, Hungary. <https://www.intelrealsense.com/beginners-guide-to-depth/>
- [11]. Tadic, V., Toth, A., Vizvari, Z., Klincsik, M., Sari, Z., Sarcevic, P., Sarosi, J., & Biro, I. (2019). Perspectives of RealSense and ZED Depth Sensors for Robotic Vision Applications.
- [12]. Perspectives of RealSense and ZED Depth Sensors for Robotic Vision Applications Article in *Machines* · March 2022, DOI: 10.3390/machines10030183
- [13]. Anders Grunnet-Jepsen, John N. Sweetser, John Woodfill, “ Best-Known-Methods for Tuning Intel® RealSense™ D400 Depth Cameras for Best Performance”, New Technologies Group, Intel Corporation, Rev 1.9
- [14]. Shahmoradi Zavareh, R. (2022, korrik). Investigating the feasibility of using a realsense depth camera d435i by creating a framework for 3d pose analysis. 037RAM2022 Robotics and Mechatronics, EEMCS University of Twente, Enschede, Netherlands.
- [15]. Howse, Joseph, Prateek Joshi, and Michael Beyeler. *OpenCV: Computer Vision Projects with Python*. Learning Path, Packt Publishing Ltd., 2016.
- [16]. Mohamad, M., Mohd Saman, M. Y., & Hitam, M. S. (2015). A review on OpenCV. Department of Computer Science, Faculty of Science and Technology, Universiti Malaysia Terengganu (UMT), Mengabang Telipot, 21030 Kuala Terengganu, Terengganu Darul Iman.
- [17]. Sadiya Samreen, S., & William Albert, D. (n.d.). Object detection using artificial intelligence. Ashoka Women's Engineering College, Department of CSE, Kurnool, Andhra Pradesh, India.
- [18]. S. Singh, M. Ton Devi, and K. Kalita, Object Detection using Artificial Intelligence: A Review, Dept. of Computer Science and Engineering, Assam DownTown University, Assam, India.
- [19]. Wilson, D., Manusankar, C., & Prathibha, P. H. (2022). Analytical Study on Object Detection using Yolo Algorithm. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 7(8), 587.

- [20]. Dobot CR Series User Guide V1.5\_20231227\_en <https://www.dobot-robots.com/>
- [21]. Dobot CRStudio User Guide (CR&Nova) V4.13.0\_V2.14.0\_20240105\_en, Dobot CR5 Hardware User Guide V2.3
- [22]. Vladimir Tadic, Attila Toth, Zoltan Vizvari, Mihaly Klincsik, Zoltan Sari, Peter Sarcevic, Jozsef Sarosi, dhe Istvan Biro, "Perspectives of RealSense and ZED Depth Sensors for Robotic Vision Applications,"
- [23]. Serdar Kucuk dhe Zafer Bingul, "Robot Kinematics: Forward and Inverse Kinematics," në *Industrial Robotics: Theory, Modelling and Control*, redaktuar nga Sam Cubero (Germany: ARS/plV, 2006), 9-64
- [24]. Prof. Dr. Sc. Arbnor Pajaziti, Msc. Rinor Berisha, "Rregullimi Inxhinierik I Pajisjeve dhe Robotët Industrial", Përmbledhje detyrash, Prishtine 2021
- [25]. "Simscape Multibody." MathWorks. <https://www.mathworks.com/products/simmechanics.html> (Përshkruan aftësitë e SimMechanics për modelimin dhe simulimin e sistemeve mekanike).
- [26]. Spong, M. W., Hutchinson, S., & Vidyasagar, M. (2006). *Robot modeling and control*. John Wiley & Sons.
- [27]. Siciliano, B., Sciavicco, L., Villani, L., & Oriolo, G. (2009). *Robotics: modelling, planning and control*. Springer Science & Business Media.
- [28]. Arbnor Pajaziti, \*Rregullimi Inxhinierik i Pajisjeve dhe Robotët Industrialë – Koncepte Bazike dhe Përmbledhje Detyrash\*, Universiteti i Prishtinës, 2024.
- [29]. Dobot-Arm. DOBOT\_6Axis\_ROS2\_V4/README\_EN.md. GitHub. Retrieved from [https://github.com/Dobot-Arm/DOBOT\\_6Axis\\_ROS2\\_V4/blob/main/README\\_EN.md](https://github.com/Dobot-Arm/DOBOT_6Axis_ROS2_V4/blob/main/README_EN.md)
- [30]. Francesco Luke Siena, Bill Byrom, Paul Watts, Philip Breedon, "Utilising the Intel RealSense Camera for Measuring Health Outcomes in Clinical Research", *Journal of Medical Systems* (2018) 42: 53, doi.org/10.1007/s10916-018-0905-
- [31]. Robots Done Right. Assembly Line Robots. Retrieved <https://robotsdoneright.com/Articles/assembly-line-robots.html>
- [32]. Lovefransk.click Product Tag: 105804440\_. Retrieved from [https://lovefransk.click/product\\_tag/105804440\\_.html](https://lovefransk.click/product_tag/105804440_.html)
- [33]. Robosklep.com. Mobile Robots AGV AMR. Retrieved from <https://robosklep.com/en/40-mobile-robots-agv-amr>
- [34]. MyBotShop.de. Intel RealSense Depth Camera D435i. Retrieved from [https://www.mybotshop.de/Intel-RealSense-Depth-Camera-D435i\\_3](https://www.mybotshop.de/Intel-RealSense-Depth-Camera-D435i_3)
- [35]. Intel Corporation, Intel® RealSense™ Product Family D400 Series (Data sheet, October 2024).
- [36]. "Kinematika direkte dhe inverse" figurë në *Forward and Inverse Kinematics*, COMPAS.dev, [https://compas.dev/compas\\_fab/0.28.0/examples/03\\_backends\\_ros/03\\_forward\\_and\\_inverse\\_kinematics.html](https://compas.dev/compas_fab/0.28.0/examples/03_backends_ros/03_forward_and_inverse_kinematics.html).
- [37]. ROS Robotics Learning. (2025, Prill 7). Shembull për të ilustruar Nyjet, Lidhjet, Mjetin Fundor, Zinxhirët Kinematikë From Forward Kinematics. <https://www.rosroboticslearning.com/forward-kinematics>
- [38]. Shala, E., Bajrami, X., Zaev, E., & Babunski, D. (2025, June). Efficient Kinematic Modeling, Simulation and Control of a 6-DOF Robotic Arm. In *2025 14th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO)* (pp. 1-6). IEEE.
- [39]. Gashi, A., Krasniqi, D., Shala, E., Bajrami, X., & Likaj, R. (2025, June). Automated Robotic Arm for Object Detection and Classification. In *2025 14th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO)* (pp. 1-5). IEEE.