

Cuprins

| | |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| 1. Introducere | 1 |
| 1.1. Descrierea temei alese | 1 |
| 1.2. Obiective propuse | 1 |
| 1.3. Motivația alegerii temei | 2 |
| 2. Tehnologii utilizate | 3 |
| 2.1. URSim (Universal Robots Simulator) | 3 |
| 2.2. Brațul robotic Universal Robots (Universal Robots 5) | 4 |
| 2.3. Limbajul Polyscope/ Script UR | 4 |
| 2.4. Oracle VirtualBox | 5 |
| 3. Realizarea proiectului | 6 |
| 3.1. Structura generală a programului | 6 |
| 3.2. Descrierea secvenței de construire | 6 |
| 3.3. Descrierea secvenței de vopsire a cubului final | 8 |
| 3.4. Exemplu concret: Vopsirea suprafeței superioare | 9 |
| 4. Concluzie | 11 |
| 5. Bibliografie | 12 |

1. Introducere

1.1. Descrierea temei alese

Tema acestui proiect se concentrează pe realizarea unei aplicații robotice care simulează un proces automatizat de manipulare și vopsire a unui obiect, cu posibile aplicații în domenii precum educația tehnologică, procesarea industrială sau activitățile creative.

Scopul este de a programa un braț robotic, astfel încât să construiască un suport temporar, de tip piramidă, format din cuburi de lemn. Acest suport nu este în sine o structură funcțională, ci servește drept platformă de sprijin pentru un cub final, care va fi amplasat în vârf și apoi vopsit pe toate fețele sale vizibile.

Procesul cuprinde mai multe etape: robotul preia și poziționează cuburile care formează suportul, plasează cubul din vârf în mod precis, apoi trece la vopsirea acestuia cu ajutorul unui instrument specific, cum ar fi un marker sau un dispozitiv de pulverizare.

Inițial, toate aceste acțiuni sunt testate într-un mediu de simulare (URSim), pentru a verifica corectitudinea mișcărilor și stabilitatea structurii. Ulterior, întregul proces este transferat pe un robot fizic, unde se evaluează acuratețea poziționării și calitatea vopsirii în condiții reale.

Prin acest proiect se dorește explorarea unei secvențe automate ce combină manipularea obiectelor cu o etapă de finisare, punând accent pe precizie, coordonare și adaptabilitate în execuția robotică a unor sarcini cu mai mulți pași.

1.2. Obiective propuse

Proiectul are ca obiectiv principal realizarea unui sistem robotic capabil să construiască un suport din cuburi de lemn și să gestioneze vopsirea controlată a unui cub amplasat în vârful acestuia. Prin această sarcină, se urmărește dezvoltarea unui proces automatizat care implică atât manipularea obiectelor, cât și aplicarea unei finisări, într-un mod coordonat și precis.

Un prim obiectiv este programarea robotului pentru a construi suportul piramidal, prin ridicarea și plasarea cuburilor de lemn în poziții prestabilite. Aceste mișcări trebuie să fie sigure și exacte, astfel încât structura să rămână stabilă pe tot parcursul execuției.

Următorul obiectiv major constă în preluarea și amplasarea unui cub final în partea superioară a suportului, urmată de vopsirea fețelor acestuia. Robotul trebuie să fie capabil să controleze un instrument de marcare sau vopsire și să execute mișcări planificate, pentru a acoperi uniform toate suprafețele vizibile ale cubului.

Toate acțiunile vor fi organizate într-un program bine definit, care gestionează separat etapele de construcție, poziționare și vopsire. Pentru mișcările brațului, se vor folosi comenzi de tip MoveJ și MoveL, care permit adaptarea traiectoriilor în funcție de pozițiile și înălțimile implicate.

Pe parcursul procesului, robotul va folosi comenzile gripperului pentru a prinde și elibera cuburile, iar întregul sistem va fi coordonat printr-o structură logică modulară, ușor de extins sau adaptat.

Validarea funcționalității va fi realizată mai întâi într-un mediu de simulare (URSim), pentru a testa acuratețea mișcărilor și secvențele de lucru, urmând ca soluția să fie testată și pe un robot fizic, unde se vor evalua rezultatele în condiții reale.

Acest proiect contribuie la înțelegerea practică a proceselor de manipulare robotizată și a modului în care pot fi integrate sarcini multiple - cum sunt construcția, poziționarea și finisarea - într-un flux coerent și controlat automat.

1.3. Motivația alegerii temei

Alegerea acestei teme a fost motivată de dorința de a înțelege și aplica practic conceptele de bază din domeniul roboticii, cu accent pe coordonarea mai multor sarcini automatizate într-un flux unitar. Ideea construirii unui suport și manipularii unui obiect care urmează să fie vopsit a oferit un context clar pentru testarea abilităților de programare și control al unui braț robotic într-un scenariu realist și accesibil.

Proiectul permite explorarea unor aspecte esențiale, precum mișcările precise în spațiu, utilizarea comenzilor gripperului, lucrul cu traiectorii planificate și integrarea unui proces de vopsire, toate în cadrul unei aplicații concrete. Această temă a fost aleasă și datorită posibilității de a combina elemente din mai multe domenii - manipulare, construcție, finisare - oferind o perspectivă completă asupra modului în care un robot poate fi utilizat în sarcini complexe, dar bine structurate.

Totodată, folosirea simulatorului URSim în paralel cu robotul fizic asigură o trecere eficientă de la concept la implementare, oferind ocazia de a testa, ajusta și valida soluțiile într-un mediu controlat, apoi în condiții reale. Tema contribuie astfel nu doar la consolidarea cunoștințelor teoretice dobândite în cadrul cursurilor de robotică, ci și la dezvoltarea unei gândiri logice și tehnice aplicate.

2. Tehnologii utilizate

Pentru realizarea acestui proiect au fost folosite mai multe tehnologii software și hardware, care au jucat un rol esențial în programarea, simularea și testarea brațului robotic. Aceste instrumente au permis dezvoltarea completă a aplicației, de la planificarea mișcărilor și manipularea obiectelor, până la validarea funcționării în condiții reale. În continuare sunt prezentate principalele tehnologii utilizate.

2.1. URSim (Universal Robots Simulator)

URSim este simulatorul oficial dezvoltat de Universal Robots, folosit pentru a crea și testa programe robotice într-un mediu virtual, fără a fi necesară utilizarea imediată a robotului fizic. Acesta redă fidel interfața Polyscope, aceeași cu cea a robotului real, ceea ce permite o tranziție ușoară de la testare la implementare.

În cadrul acestui proiect, URSim a fost esențial pentru dezvoltarea și verificarea etapelor de manipulare a cuburilor și a secvenței de vopsire. A fost folosit pentru a seta pozițiile de plasare ale cuburilor în suportul piramidal, pentru a ajusta traiectoriile brațului robotic și pentru a simula mișcările asociate procesului de vopsire.

Simulatorul a permis testarea comenzilor MoveJ și MoveL pentru mișcări articulate și liniare, precum și a comenzilor gripperului pentru prinderea și eliberarea cuburilor. Astfel, s-au putut identifica și corecta eventuale erori sau coliziuni înainte de rularea programului pe robotul real, economisind timp și resurse.



Figura 1. Interfața de început a programului de simulare Universal Robots

2. 2. Brațul robotic Universal Robots (Universal Robots 5)

În etapa practică a proiectului, programul este testat pe un braț robotic real, model UR5, aflat în laborator. Scopul este de a valida comportamentul și secvențele dezvoltate în simulator, într-un context fizic concret. Programul creat în URSim este compatibil cu robotul real și poate fi rulat direct, necesitând doar ajustări minore pentru corectarea poziționărilor și adaptarea la condițiile din mediul real.

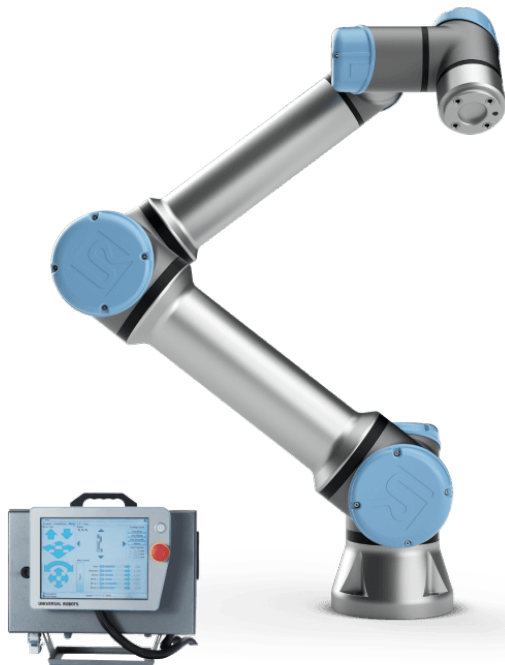


Figura 2. Brațul robotic UR5

2.3. Limbajul Polyscope/ Script UR

Programarea a fost realizată prin interfața Polyscope, folosind limbajul specific Universal Robots. Acesta oferă structuri precum MoveL, MoveJ, comenzi pentru gripper și funcții de temporizare (Wait), facilitând organizarea clară a codului. Limbajul permite scrierea unui program modular, intuitiv și ușor de modificat în funcție de cerințele fiecărei etape din proiect.

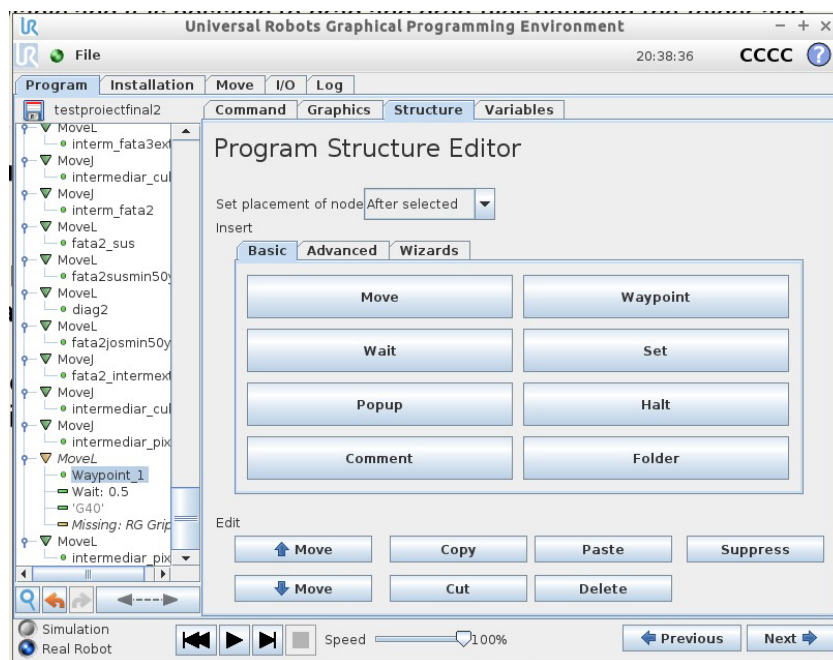


Figura 3. Secvența comenzi și diverse structuri

2.4. Oracle VirtualBox

Pentru a rula simulatorul URSim pe un sistem personal, a fost folosită platforma Oracle VirtualBox. Aceasta permite utilizarea unei mașini virtuale cu sistem de operare Linux, în care URSim este instalat și configurat. Soluția oferă un mediu de testare stabil, portabil și ușor de replicat, fără a afecta sistemul principal de operare.

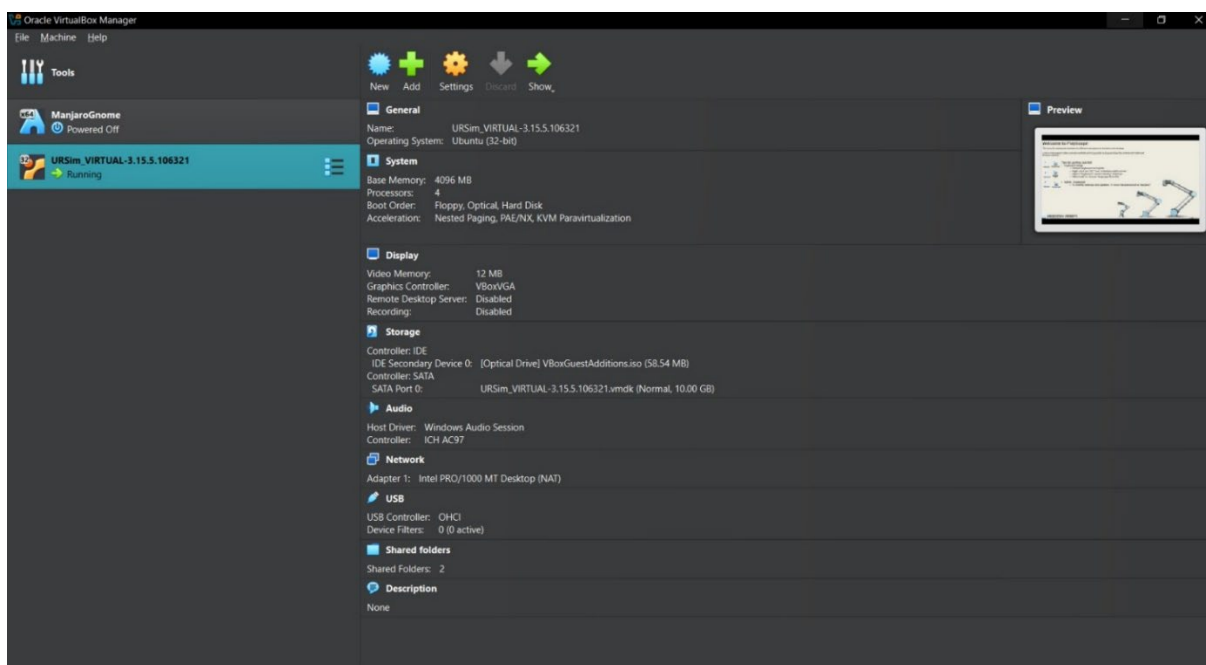


Figura 4. Interfața mașinii URSim în Oracle VirtualBox

3. Realizarea proiectului

3.1. Structura generală a programului

Programul realizat în URSim este structurat modular, împărțit în secvențe logice care reflectă etapele principale ale procesului: construirea suportului piramidal din cuburi de lemn și vopsirea suprafețelor superioare ale cubului amplasat în vârful piramidei, folosind un marker.

Structura generală are la bază un program principal care apelează secvențe logice dedicate, în funcție de etapele procesului. Execuția începe cu deplasarea brațului robotic în poziția de preluare a cuburilor de lemn, urmată de construirea succesivă a piramidei. După finalizarea construcției, robotul se deplasează în poziția de preluare a markerului, apoi urmează prinderea sa și deplasarea spre cubul din vârful piramidei pentru a vopsi suprafețele acestuia. La finalizarea procesului de vopsire, robotul lasă markerul într-o poziție sigură și revine la poziția inițială.

Pentru controlul mișcărilor sunt folosite comenzile MoveL și MoveJ. Manipularea cuburilor și a markerului este realizată cu ajutorul comenzilor gripperului: **G40** pentru prindere cuburi, **G10** pentru prindere marker și **G80** pentru eliberarea lor.

Această structurare modulară permite testarea individuală a fiecărei etape (construcția piramidei, preluarea markerului, vopsirea) și o extindere ușoară a proiectului pentru a vopsi alte forme sau a construi structuri diferite.

3.2. Descrierea secvenței de construire a suportului piramidal

Secvența de construire a piramidei reprezintă prima etapă a execuției programului, în care robotul preia și plasează succesiv cuburi de lemn pentru a forma un suport piramidal.

Procesul începe din punctul în care robotul se deplasează la o poziție prestabilită (ex. *proximitate_cub*), apoi coboară la *prindere_cub*, unde gripperul prinde un cub cu comanda G40. După preluare, robotul se ridică înapoi la *proximitate_cub*, evitând astfel coliziunile în timpul deplasării.

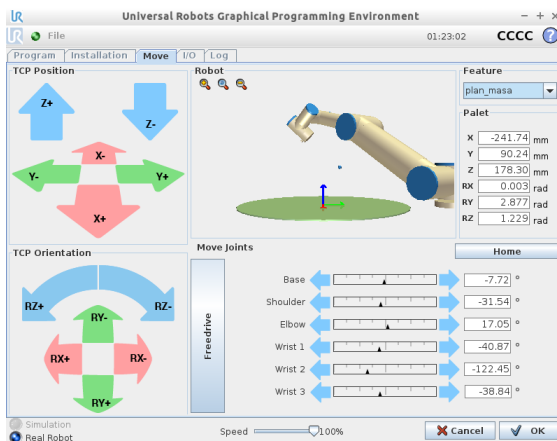


Figura 5. Coordonate proximitate_cub

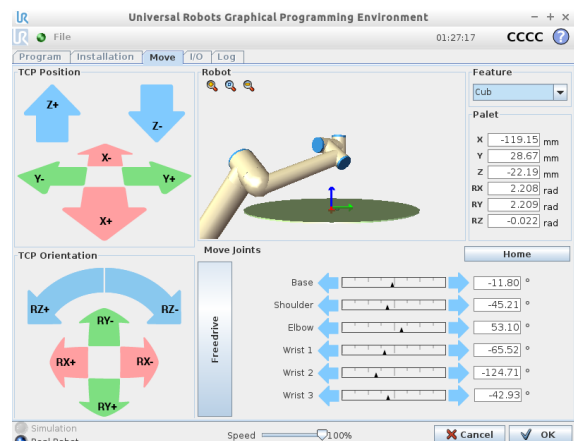


Figura 6. Coordonate prindere_cub

Fiecare cub este plasat într-un punct bine definit pentru a forma baza piramidei. De exemplu, pentru o bază de 1x3 cuburi, plasările se fac prin apeluri succesive către subprograme de tipul *plaseaza_P_X_Y*, unde X și Y indică poziția pe stratul de bază. Fiecare dintre aceste subprograme urmează aceeași structură: mișcare de poziționare deasupra punctului de plasare (ex. *prox_cub2r2*), coborâre la punctul de plasare (ex. *cub2_r2*), eliberare cub (G80) și retragere într-un punct intermediar.

După completarea unui strat, robotul repetă procesul pentru straturile superioare, ajustând punctele de plasare pentru a forma structura piramidală.

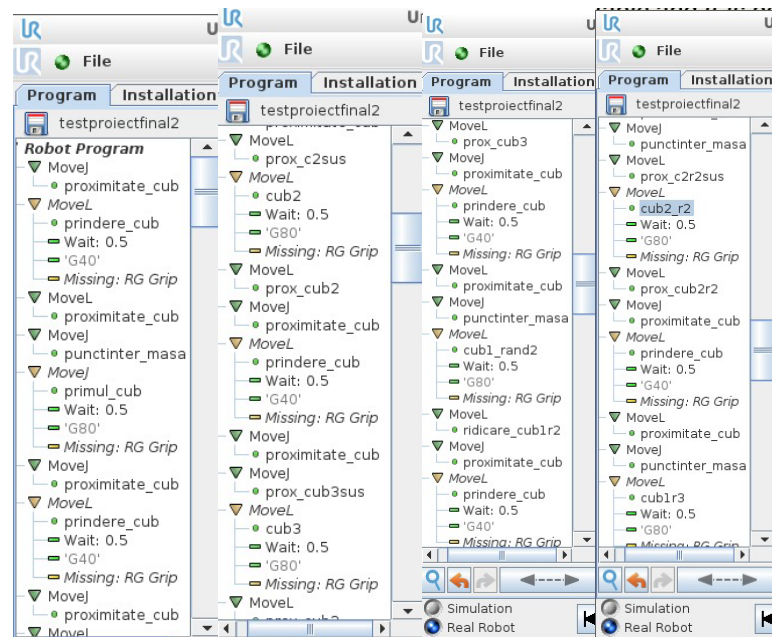


Figura 7. Subprogram formare suport piramidal

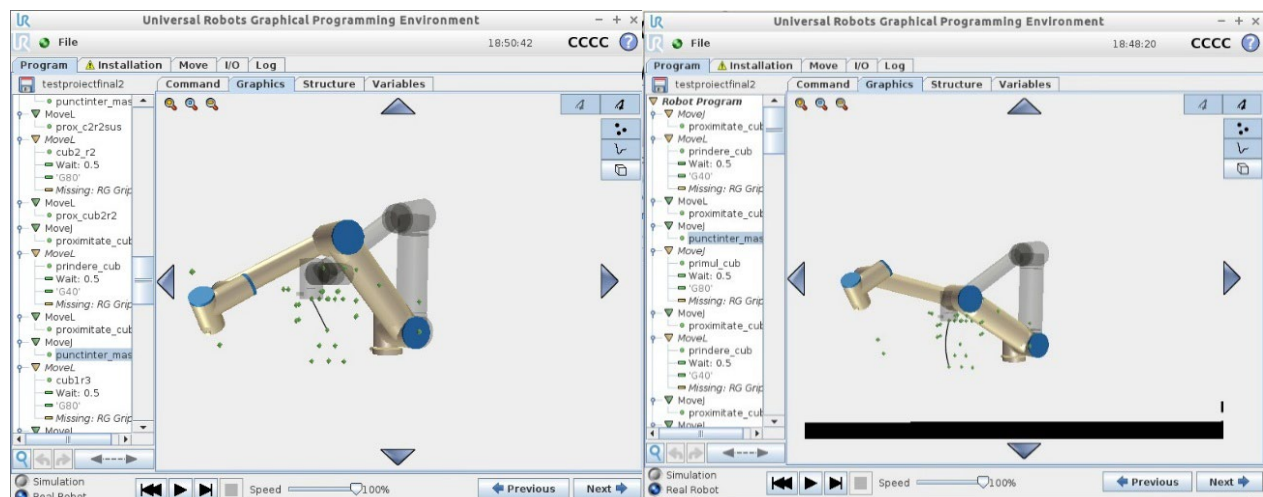


Figura 7.1. Exemple de mișcări ale bratului UR5 pentru formarea suportului piramidal

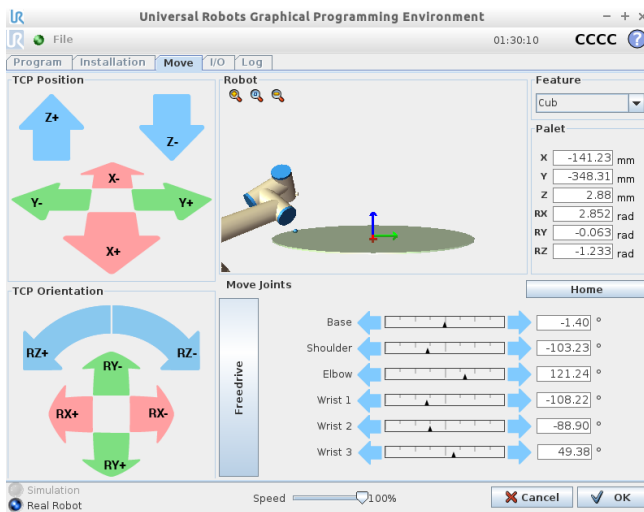


Figura 8. Coordonatele celui de-al doilea cub de pe al doilea rând, mijlocul suportului piramidal

3.3. Descrierea secvenței de vopsire a cubului final

După finalizarea construirii piramidei, robotul trece automat la etapa de vopsire a cubului amplasat în vârful acesteia. Această etapă constă în preluarea unui marker și vopsirea suprafețelor cubului final.

Procesul începe cu subprogramul *vopsirecubfinal*, primul pas fiind deplasarea brațului robotic în poziția *pix*, unde gripperul se închide cu comanda G10 pentru a prinde markerul. După o scurtă pauză (Wait: 0.5), robotul ridică markerul prin mișcarea către poziția *intermediar_pix*.

Din această poziție, robotul se deplasează către cubul din vârful piramidei. Mai întâi, ajunge în *intermediar_cub*, apoi coboară în *cub_susstanga*, punctul de start pentru vopsirea suprafeței.

Vopsirea se realizează prin secvențe dedicate fiecărei suprafețe ce trebuie vopsită (ex. *cub_susdreapta*, *diagstangajos*, *fata3_sus*). Fiecare secvență de comenzi MoveL controlează mișcarea markerului prin puncte intermediare pe suprafața cubului. Toate aceste mișcări sunt de tip MoveL pentru a asigura o vopsire continuă și precisă. Alegerea mișcării liniare este importantă, deoarece markerul trebuie să mențină contactul constant cu suprafața cubului în timpul vopsirii.

La finalul vopsirii tuturor suprafețelor, robotul execută ultima secvență, unde se deplasează la *intermediar_pix*, apoi coboară în *Waypoint_1* pentru a lăsa markerul cu G10 cu câțiva milimetrii deasupra poziției inițiale pentru o eliberare fără probleme. Apoi, gripperul se deschide (G80) și robotul se retrage într-o poziție sigură de repaus.

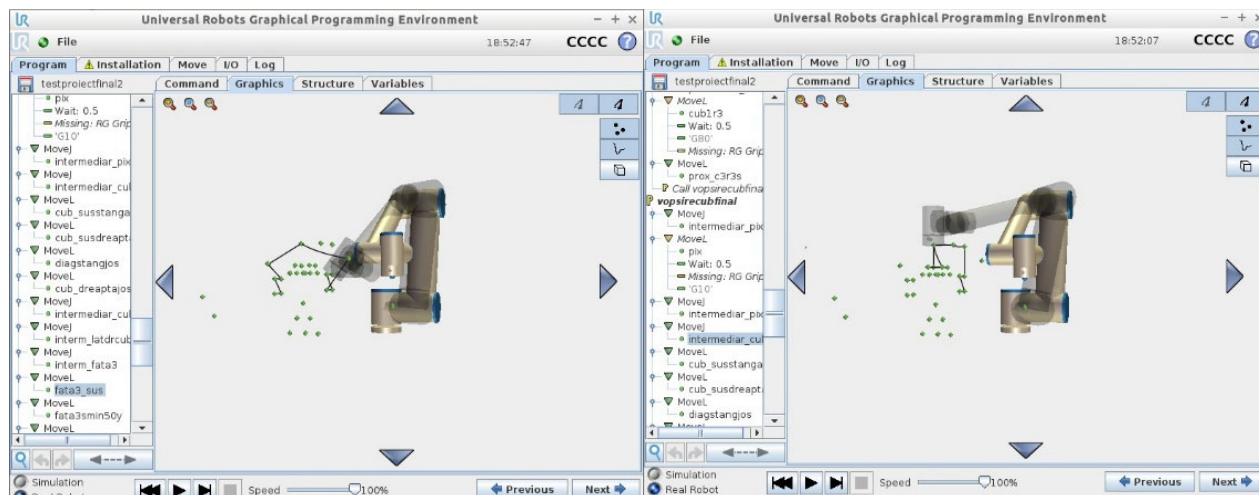


Figura 9. Subprogram cu succesiunea de mișcări necesare pentru vopsirea suprafețelor cubului

3.4. Exemplu concret: Vopsirea suprafeței superioare

Pasul 1: Robotul merge la *preluare_marker*, prinde markerul în poziția *pix*.

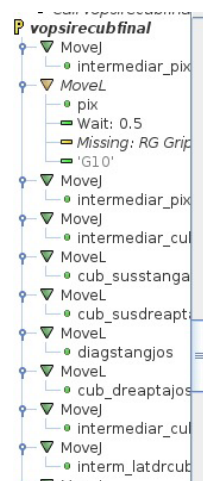


Figura 10. Începutul vopsirii suprafeței superioare, asemănătoare tuturor suprafețelor

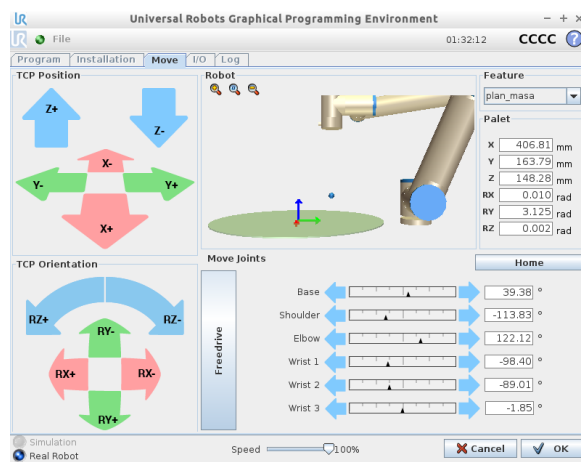


Figura 11. Coordonate pix (preluare/ lăsare marker)

Pasul 2: Se deplasează spre cub, începe trasarea literei Z pentru o vopsire uniform.

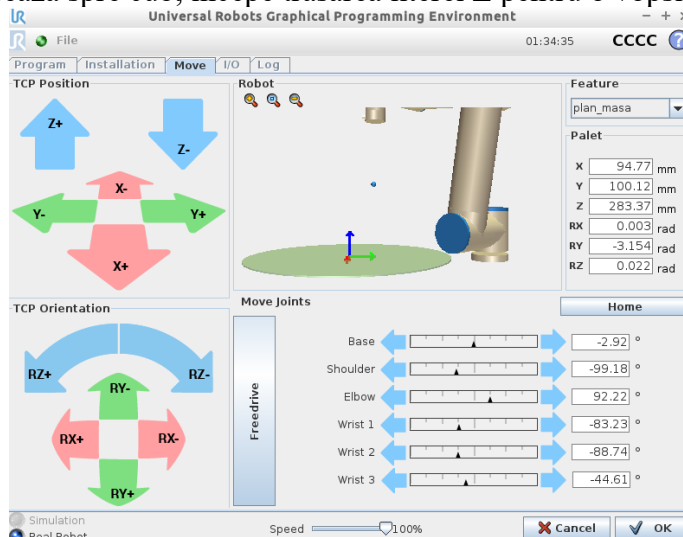


Figura 12. Coordonate punctului final al mișcării în diagonală de pe suprafața superioară a cubului

Pasul 3: Markerul este lăsat în punctul de proximitate, apelându-se mai apoi *Waypoint_1* pentru a lăsa markerul cu aproximativ 3 milimetrii mai sus pentru a evita blocarea sau spargerea suportului.

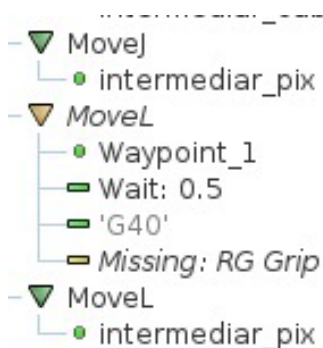


Figura 13. Secvența de program ce lasă markerul în poziția inițială

4. Concluzie

Proiectul realizat demonstrează modul în care un braț robotic poate fi programat pentru a executa sarcini complexe, secvențiale și automate. Prin combinarea construirii unui suport piramidal din cuburi de lemn cu vopsirea precisă a suprafețelor unui cub amplasat în vârful acesteia, s-au aplicat concepte esențiale din programarea robotică: mișcări planificate (MoveL, MoveJ), controlul gripperului, lucrul cu planuri de coordonate și utilizarea structurilor programatice modularizate.

Un alt aspect important a fost testarea extinsă în simulatorul URSim, care a permis ajustarea precisă a punctelor de preluare și plasare, verificarea logicii de construcție a piramidei și a secvențelor de vopsire, precum și prevenirea coliziunilor. Ulterior, programul a fost pregătit pentru rularea pe robotul fizic, ceea ce a confirmat funcționalitatea și robustețea soluției propuse.

Dificultățile principale au apărut în stabilirea coordonatelor exacte pentru fiecare strat al piramidei și în sincronizarea mișcărilor robotului cu acțiunile gripperului, în special pentru asigurarea stabilității structurii construite. Aceste provocări au fost rezolvate prin testare repetată și ajustări iterative în simulator. De asemenea, organizarea modulară a programului, prin subprograme separate pentru diferite etape (construcție, preluare marker, vopsire), a ușurat semnificativ procesul de dezvoltare, depanare și mentenanță.

Proiectul rămâne deschis pentru extinderi viitoare, cum ar fi adăugarea capacității de a construi structuri piramidale de dimensiuni diferite și optimizarea traiectoriilor de vopsire pentru diferite forme.

5. Bibliografie

1. Universal Robots. *URScript Programming Language – User Manual*, Universal Robots A/S
2. Universal Robots. *Polyscope GUI User Manual*, Universal Robots A/S
3. Pagina oficială: <https://www.universal-robots.com>