

SISTEM NECONVENȚIONAL DE CONDUCERE A ROBOȚILOR INDUSTRIALI

Teză de doctorat – Rezumat

pentru obținerea titlului științific de doctor la

Universitatea Politehnică Timișoara

în domeniul de doctorat inginerie mecanică

autor ing. Robert KRISTOF

conducător științific Prof.univ.dr.ing. Inocențiu MANIU

luna 09 anul 2023

CAPITOLUL 1 – INTRODUCERE

Aceast capitol explorează conceptul de roboți și robotica, începând cu originea termenului "robot" în anul 1920, când scriitorul ceh Karel Čapek l-a introdus în piesa "Rossumovi Univerzální Roboti (RUR)". Termenul "rabota" a fost folosit pentru a descrie caractere umanoide ficționale [1]. Deși Karel Čapek este asociat în mod obișnuit cu inventarea termenului, adevăratul inventator este considerat a fi fratele său, Josef Čapek [2], [3]. Roboții sunt definiți ca manipulatori multifuncționali reprogramabili, utilizați în diverse domenii, în special în producție, datorită creșterii productivității pe care o aduc[4]. Robotica este descrisă ca arta și cunoștințele asociate cu proiectarea, aplicarea și utilizarea roboților în eforturile umane, îmbinând elementele de mecanică, electronică și informatică[5]. Sistemele robotice sunt văzute ca tehnologii complexe de automatizare a producției, cu avantajul de a elimina munca manuală și de a răspunde nevoilor pieței.[6]

Legile lui Asimov au fost introduse în ficțiune și au influențat dezvoltarea eticii în dezvoltarea inteligenței artificiale, reprezentând un punct de pornire pentru cercetările în acest domeniu.

Secțiunea abordează și evoluția sistemelor robotice industriale, subliniind progresele în tehnologia de conducere a roboților și importanța lor în producție. Discuția se extinde către clasificarea roboților, acoperind variantele de clasificare propuse de diferiți autori și organizații. Se trece apoi la detalierea roboților industriali, evidențiind avantajele și dezavantajele lor. Printre avantajele se numără costurile reduse de producție, calitatea superioară a produselor, eficiența spațiului și siguranța în muncă, în timp ce investiția inițială mare și impactul asupra forței de muncă sunt considerate dezavantaje.

Capitolul continuă prin prezentarea de statistici privind instalările anuale de roboți industriali în diferite regiuni și domenii de activitate. Se observă o creștere semnificativă a instalărilor în anul 2021, cu China dominând în topul țărilor cu cele mai multe instalări de roboți industriali[7]. Pandemia COVID-19 a influențat semnificativ implementarea roboților, cu unele țări accelerând adoptarea lor, în timp ce altele au avut evoluții negative.

Această secțiune oferă o imagine cuprinzătoare asupra evoluției și impactului roboților și roboticii în diferite domenii și regiuni.

CAPITOLUL 2 - STADIUL ACTUAL ÎN DOMENIUL CONDUCERII ROBOȚILOR INDUSTRIALI

Acest capitol se concentrează pe analiza și prezentarea diferitelor modalități prin care roboții industriali pot fi controlați folosind o varietate de dispozitive și tehnologii. Într-o lume în continuă evoluție tehnologică, cercetătorii și dezvoltatorii au explorat mai multe opțiuni pentru a permite operatorilor umani să interacționeze cu roboții industriali într-un mod mai intuitiv și eficient.

Unul dintre modurile de control este prin intermediul consolelor de învățare (Fig. 1). Aceste console sunt utilizate pentru programarea și ghidarea roboților. În ultimii ani, consolele de învățare au evoluat considerabil, oferind interfețe mai prietenoase, cum ar fi programarea bazată pe icoane, ecrane tactile colorate și joystick-uri 3D. Producătorii de roboți industriali au dezvoltat chiar proiecte care vizează utilizarea ecranelor tactile și recunoașterii vocale pentru a facilita programarea roboților, permițând utilizatorilor să programeze roboții fără cunoștințe avansate de programare sau robotică.[8]



Fig. 1 – Consolă mobilă de învățare KUKA KR15

Un alt dispozitiv analizat este Microsoft Kinect, care utilizează senzori de adâncime și recunoaștere a gesturilor pentru a detecta mișcările și acțiunile operatorilor umani. Acest dispozitiv a fost inițial creat pentru industria jocurilor, dar a fost adaptat și pentru controlul roboților industriali. Imaginile capturate de Kinect pot fi procesate pentru a detecta obiecte și pentru a determina poziționarea lor, permițând astfel controlul precis al roboților [9], așa cum se prezintă în Fig. 2.

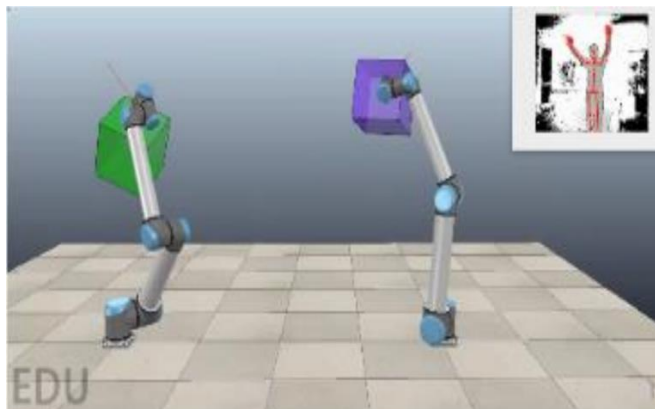


Fig. 2 - Manipulare cuburi cu ajutorul Microsoft Kinect v2[10]

Telefoanele mobile au devenit și ele dispozitive potente pentru controlul roboților industriali. Cu accelerometrele și ecranele tactile ale acestor dispozitive, utilizatorii pot controla mișcările roboților prin mișcarea telefonului sau prin intermediul unor butoane virtuale de pe ecran [11]. Această abordare a fost adaptată cu succes pentru diverse aplicații de control al roboților industriali așa cum se observă în Fig. 3.

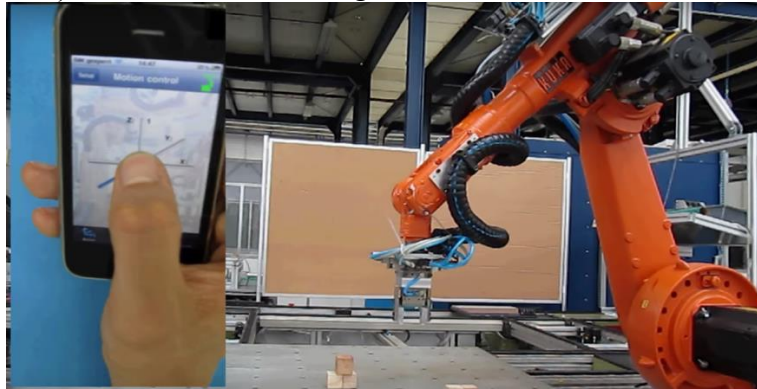


Fig. 3 - Robot industrial controlat cu accelerometrul telefonului mobil [12]

Joystick-urile și gamepad-urile, obișnuite în jocurile pe calculator, sunt alte dispozitive analizate pentru controlul roboților. Acestea pot oferi control precis asupra mișcărilor roboților, oferind operatorilor umani o experiență asemănătoare cu cea din jocurile pe calculator astfel cum se poate observa în Fig. 4.

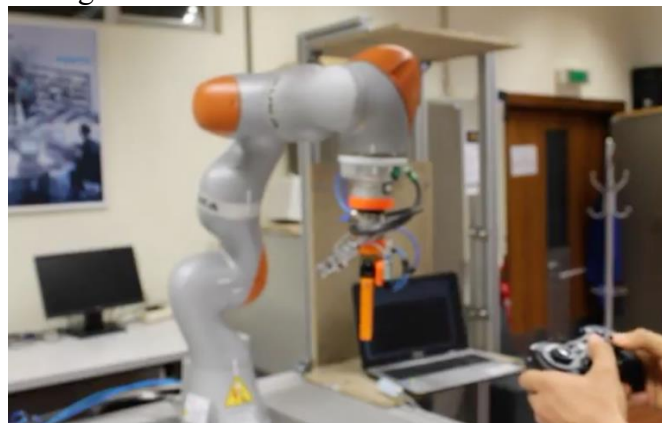


Fig. 4 - Robot industrial controlat prin intermediul unui gamepad [13], [14]

Leap Motion (Fig. 5) este un dispozitiv specializat în recunoașterea gesturilor. Acesta poate detecta mișcările mâinilor și degetelor, permițând operatorilor să controleze roboții industriali printr-o serie de gesturi predefinite.[15]

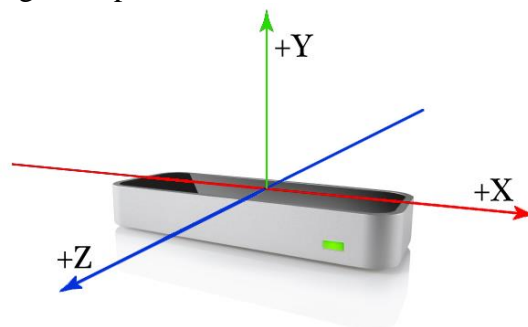


Fig. 5 - Leap Motion [15]

În final, Myo Armband (Fig. 6) este un alt dispozitiv interesant care utilizează activitatea musculară pentru a controla roboții. Prin purtarea brățării Myo pe antebraț, operatorii pot genera gesturi și comenzi prin intermediul semnalelor electrice ale mușchilor.[16]



Fig. 6 - Myo Armband

Astfel, acest capitol explorează o gamă largă de metode și tehnologii pentru controlul roboților industriali, oferind o perspectivă asupra diversității și inovațiilor din acest domeniu.

CAPITOLUL 3 - SOLUȚIA PROPUȘĂ ȘI ETAPELE CERCETĂRII

Acest capitol se concentrează pe soluția propusă pentru controlul unui robot industrial folosind brățara Myo Armband, precum și pe etapele cercetării asociate acestui proces.

Dispozitive utilizate:

3.1. Robotul industrial KUKA KR15 (Fig. 7): Acesta este un robot cu 6 axe de mișcare și o structură articulată, cu o sarcină utilă de 15 kg. Capabil să efectueze o varietate de mișcări într-un spațiu de lucru definit, robotul KUKA KR15 are diverse aplicații în domenii precum industria aerospațială, automotive, electronică, alimentară și prelucrarea metalelor.[17]



Fig. 7 - KUKA KR15

3.2. Brățara Myo Armband (Fig. 8): Fabricată de Thalmic Labs, această brățară permite controlul prin gesturi al diferitelor obiecte. Aceasta detectează impulsurile electrice din mușchii antebrațului pentru a interpreta mișcările și gesturile. Cu o varietate de senzori și procesoare, brățara poate fi utilizată pentru a controla diverse dispozitive și aplicații, fiind compatibilă cu PC-uri și jocuri. [18]



Fig. 8 - Brățara Myo Armband

3.3. Universal Robots UR10e (Fig. 9): Acesta este un robot colaborativ (cobot) dezvoltat de Universal Robots. Modelul UR10e are o sarcină utilă de 12,5 kg și se concentrează pe asistența umană în procesele industriale.[19]



Fig. 9 - Universal Robots UR10e

Soluția propusă implică dezvoltarea unui sistem de control pentru un robot industrial folosind brățara Myo Armband. Aceasta aduce o inovație semnificativă prin posibilitatea de a salva poziții și de a genera programe pentru robot, toate prin intermediul gesturilor realizate cu brățara. Acest lucru deschide posibilități extinse pentru utilizarea roboților industriali, fără a necesita cunoștințe avansate de programare.

Cercetarea propusă constă în mai multe etape:

- Testarea integrării brățării Myo Armband: Se verifică conexiunea brățării cu alte dispozitive și se testează funcționalitățile sale.
- Controlul robotului KUKA KR15: Se explorează posibilitatea de a controla robotul KUKA KR15 folosind brățara Myo Armband pe coordonate carteziane.
- Controlul robotului UR10e: Se extinde cercetarea pentru a controla robotul UR10e de la Universal Robots cu ajutorul brățării Myo.
- Analiză și experimente: Se compară comportamentul celor doi roboți în ceea ce privește controlul cu brățara Myo Armband, iar rezultatele sunt analizate pentru a determina eficacitatea și utilitatea soluției.

Obiectivele cercetării sunt:

- O1. Realizarea unui sistem de control eficient: Crearea unui sistem de control pentru roboți industriali care să permită mișcări fluide și fără întreruperi folosind brățara Myo Armband.
- O2. Evaluarea timpului și preciziei: Testarea sistemului pentru a evalua cât de rapid și precis poate fi controlat robotul cu ajutorul brățării Myo Armband în comparație cu metodele tradiționale.
- O3. Colectarea de feedback de la utilizatori: Chestionarea utilizatorilor pentru a colecta opinii și impresii cu privire la eficiența și ușurința de utilizare a soluției.
- O4. Analiza rezultatelor: Examinarea datelor obținute din teste și chestionare pentru a determina care dintre cele două dispozitive de control (brățara Myo Armband sau consola de învățare) este mai eficient în controlul roboților industriali.

Acest capitol oferă o perspectivă detaliată asupra soluției propuse și a modului în care cercetarea a fost structurată și implementată pentru a atinge obiectivele stabilite.

CAPITOLUL 4 – EVALUAREA SOLUȚIEI OPTIME

Acest capitol se referă la evaluarea soluției optime pentru conectarea brățării Myo Armband cu roboții industriali, evidențiind aplicarea acestei tehnologii în controlul mișcărilor robotice. Capitolul se concentrează pe trei aplicații diferite ale tehnologiei Myo Armband: conectarea cu un robot mobil pe șenile, conectarea cu un robot industrial KUKA KR15 și conectarea cu un robot colaborativ Universal Robots UR10e.

4.1 Aplicație conexiune Myo Armband cu Arduino (Fig. 10):

În această aplicație, a fost dezvoltată o soluție pentru a testa capacitățile brățării Myo, prin controlul unui robot mobil pe platforma Arduino. Sistemul include un robot mobil cu șenile, o placă Arduino Uno și un driver de motor L298. Prin intermediul conexiunii Bluetooth între brățara Myo și un computer portabil, semnalele gesturilor sunt interpretate și transmise către Arduino. Acesta comandă driverul de motoare pentru a controla mișcarea robotului în funcție de gesturile detectate.[20]

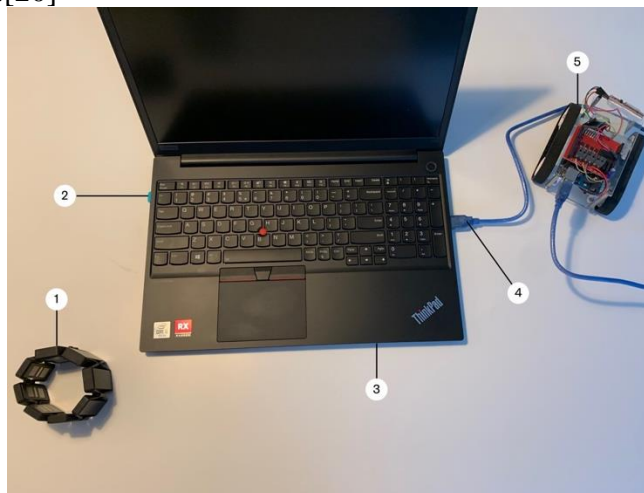


Fig. 10 - Aplicație conexiune Myo Armband cu Arduino[20]

4.2. Aplicație conexiune Myo cu robot industrial KUKA KR15 (Fig. 11):

Această aplicație explorează conectarea brățării Myo cu un robot industrial KUKA KR15. Brățara Myo este conectată la un computer portabil prin Bluetooth, iar computerul

transmite comenzile de poziționare și orientare către robotul KUKA KR15 prin intermediul unui cablu serial. Prin gesturile interpretate de brățara Myo, operatorul controlează robotul industrial într-o serie de mișcări.[21]

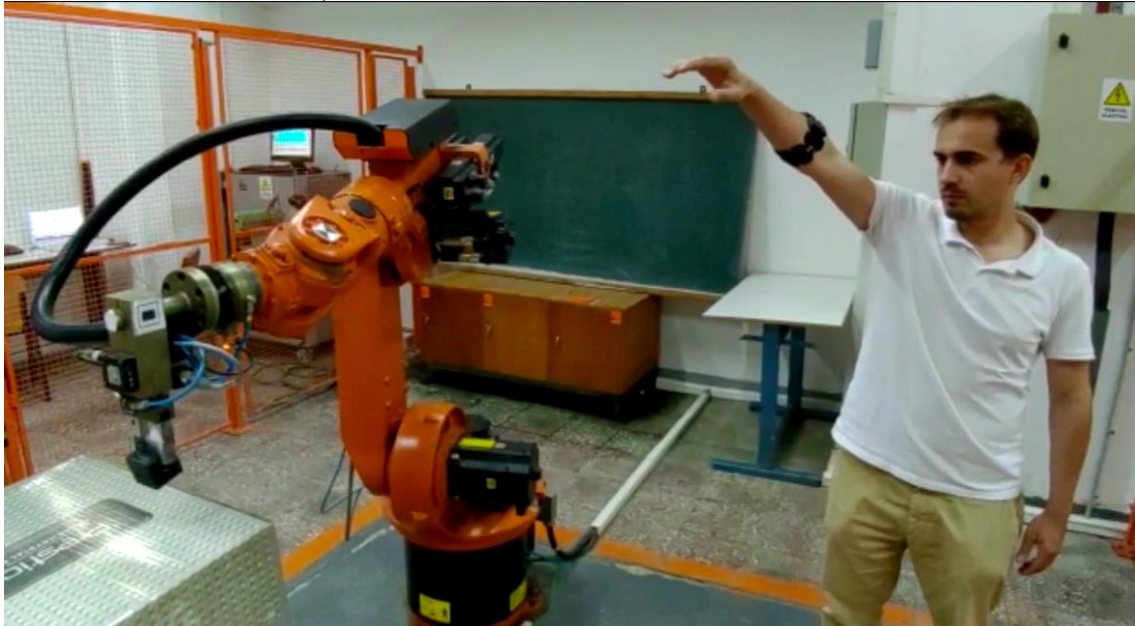


Fig. 11 - Aplicație conectare brățara Myo - KUKA KR15[21]

4.3 Aplicație Dual Myo – KUKA KR15 (Fig. 12):

Această aplicație adaugă o altă dimensiune de control, folosind două brățări Myo în conectarea cu robotul industrial KUKA KR15. Prima brățară este responsabilă pentru coordonatele de poziționare, în timp ce cea de-a doua brățară se ocupă de orientarea robotului. Cu toate acestea, experimentul a evidențiat dificultățile de control a șase coordonate în același timp și problemele asociate cu legăturile corporale dintre membre.

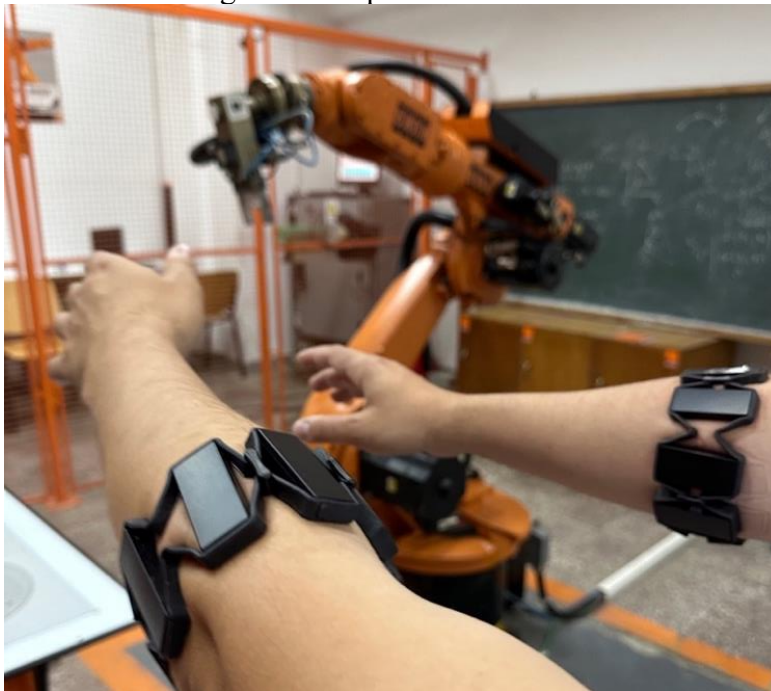


Fig. 12 - Aplicație conexiune Dual Myo – KUKA KR15

4.4. Aplicație Myo Armband – Universal Robots UR10e (Fig. 13):

În această ultimă aplicație, s-a realizat conectarea brățării Myo Armband cu un robot colaborativ Universal Robots UR10e. Prin intermediul unui sistem desktop, semnalele gesturilor Myo sunt interpretate în programe C# și Python. Aceste programe transmit comenzi de poziționare și orientare către robotul UR10e prin intermediul protocolului de comunicare Ethernet. Experimentul a permis mișcări continue și precise ale robotului colaborativ.



Fig. 13 - Aplicație conexiune Myo – Universal Robots UR10e

În concluzie, aceste aplicații demonstrează potențialul și limitările utilizării brățării Myo Armband pentru controlul roboților industriali. Chiar dacă au fost obținute rezultate promițătoare în ceea ce privește controlul gesturilor, există provocări legate de calibrare, comunicare, și coordonarea mișcărilor. Soluția optimă este dată de aplicația Myo Armband – Universal Robots UR10e.

CAPITOLUL 5 – METODOLOGIA DE CERCETARE ȘI TESTAREA SOLUȚIEI OPTIME

Metodologia de cercetare și testare pentru găsirea soluției optime a implicat efectuarea de experimente pe un grup de utilizatori, care au realizat trei tipuri de teste. Scopul principal a fost să compare performanțele soluției optime, măsurate prin experimente similare folosind dispozitivul Myo Armband și o consolă de învățare. În fiecare experiment, viteza și precizia de poziționare au fost monitorizate, iar utilizatorii au completat chestionare pentru a oferi feedback.

Experimentele au inclus următoarele teste:

5.1 Preluarea și plasarea a trei obiecte (Fig. 14): Utilizatorii au fost instruiți să preia obiecte de pe o masă și să le poziționeze cât mai aproape de un punct central de pe masă. Scopul a fost să se obțină un echilibru între timp și precizie.

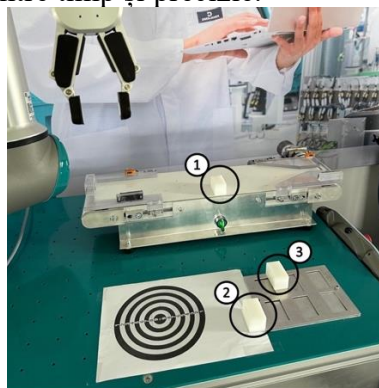


Fig. 14 – Testul 1 – Preluarea și plasarea obiectelor nr. 1, nr. 2 și nr. 3

5.2 Atingerea celor patru repere (Fig. 15): Acest test a evaluat doar viteza de atingere a unor repere subțiri, necesitând atenție și precizie din partea utilizatorilor.

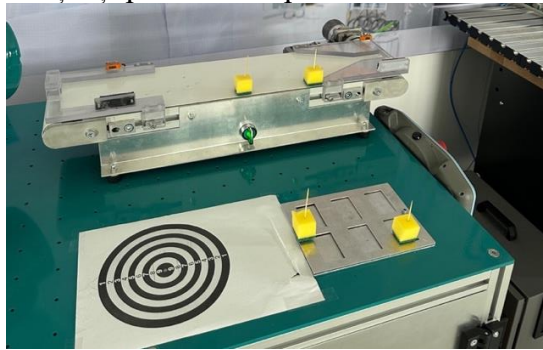


Fig. 15 - Testul 2 - Atingerea celor patru repere

5.3 Preluarea și plasarea unei sticle PET într-o cutie (Fig. 16): Acest test a fost mai dificil, implicând preluarea și plasarea unei sticle PET într-o cutie. Scopul a fost să se obțină un raport optim între timp și precizie.

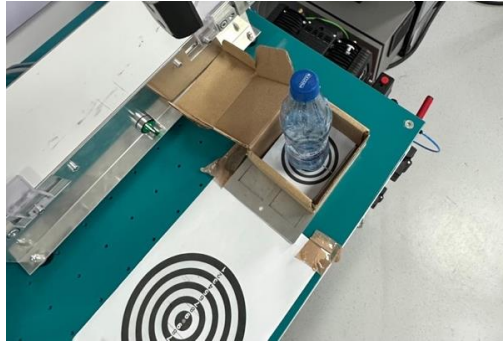


Fig. 16 - Testul 3 – Preluare și plasare obiect în cutie

Înainte de a efectua testele, utilizatorilor li s-au acordat trei minute pentru a se familiariza cu dispozitivele. Fiecare experiment a inclus același punct de plecare și poziții identice pentru obiecte, atunci când utilizau Myo Armband sau consola de învățare.

Analizele au inclus următoarele aspecte:

- **Analiza timpilor:** Timpul mediu al testelor a fost calculat pentru utilizarea Myo Armband și pentru consola de învățare. Scopul a fost să se compare mediile și să se determine dispozitivul care a obținut timpul cel mai mic.
- **Analiza preciziei:** Scorul mediu pentru precizie a fost calculat pentru ambele dispozitive. Scorul de precizie a fost evaluat în funcție de cât de aproape au plasat utilizatorii obiectele de punctul central dorit. Dispozitivul care a obținut scorul mediu cel mai mare a fost considerat mai precis.
- **Analiza multicriterială echivalentă:** Pentru acest tip de analiză, s-au luat în considerare atât scorul de precizie, cu o pondere de 50%, cât și timpul, cu o pondere de 50%. Valorile au fost normalizate pentru a putea fi comparate și s-a calculat un scor multicriterial echivalent pentru fiecare dispozitiv. Dispozitivul cu scorul mai mare a fost considerat mai bun.

Experimentele au inclus și o serie de gesturi pentru controlul unui robot, precum și teste specifice pentru fiecare tip de experiment descris mai sus. Scopul final a fost să se determine dispozitivul care oferă cea mai bună combinație de timp și precizie în efectuarea sarcinilor respective.

CAPITOLUL 6 – REZULTATE EXPERIMENTALE

Această secțiune a tezei de doctorat se referă la rezultatele experimentelor realizate pentru evaluarea dispozitivelor de control a roboților industriali: Myo Armband și consola de învățare. Experimentele au fost efectuate pe un eșantion de 13 persoane cu o vârstă medie de 26,5 ani. Participanților nu li s-au furnizat măsurătorile și au fost rugați să completeze chestionarele în funcție de estimările și experiențele lor personale.

6.1. Rezultatele chestionarelor:

Chestionarul a fost structurat în trei părți pentru a evalua diferite aspecte ale dispozitivelor. Participanții au fost rugați să evalueze dispozitivele în funcție de ușurința mișcării robotului, precizia poziționării, timpul de programare și satisfacția generală de utilizare.

Ușurința mișcării robotului:

Cei mai mulți participanți (92%) au ales Myo Armband ca fiind mai bun în ceea ce privește ușurința mișcării robotului UR10e.

În privința utilizării individuale a dispozitivelor, majoritatea au considerat Myo Armband ca fiind bun sau foarte bun (85%), în timp ce o mică proporție (15%) l-au evaluat ca fiind mediocru. Nimeni nu a ales opțiunile "rău" sau "foarte rău". În cazul consolei de învățare, 8% au considerat dispozitivul ca fiind rău.

Precizia poziționării:

85% dintre participanți au considerat consola de învățare mai utilă pentru precizia poziționării, în contrast cu rezultatele privind ușurința mișcării.

La nivel individual, majoritatea (92%) au considerat consola de învățare foarte bună în ceea ce privește precizia de poziționare, în timp ce 46% au considerat Myo Armband ca fiind mediocru sau rău.

Timpul de programare:

92% dintre participanți au preferat să utilizeze gesturi pentru a salva poziții pentru robot folosind Myo Armband în loc să scrie instrucțiuni în consola de învățare.

În ceea ce privește timpul de programare, majoritatea (77%) au considerat Myo Armband bun pentru salvarea pozițiilor cu ajutorul gesturilor, în timp ce părerea cu privire la consola de învățare a fost împărțită, cu 31% considerând-o mediocră.

Satisfacția generală de utilizare:

Cu toate că Myo Armband are dezavantaje în ceea ce privește precizia, majoritatea (85%) au considerat că este mai bun pentru utilizare comparativ cu consola de învățare.

La nivel individual, majoritatea (85%) au raportat satisfacție generală foarte bună cu Myo Armband. Opiniile cu privire la consola de învățare au fost împărțite, cu 46% considerând-o foarte bună sau bună, iar 46% considerând-o mediocră sau rea.

Concluzii generale:

- Myo Armband a fost preferat ca dispozitiv mai bun în ceea ce privește ușurința mișcării, viteza de programare și satisfacția generală, în timp ce consola de învățare a excelat în ceea ce privește precizia.
- Experiența de utilizare și satisfacția generală au avut un impact mai mare în alegerea dispozitivului, chiar dacă acesta avea dezavantaje în ceea ce privește anumite caracteristici.
- Experimentele au furnizat o perspectivă cuprinzătoare asupra avantajelor și dezavantajelor fiecărui dispozitiv de control al roboților industriali.

6.2. Analiza testelor:

Testul 1 - Preluarea și plasarea a trei obiecte (paralelipiped din plastic):

- Timpul mediu pentru fiecare obiect a variat între cele două dispozitive. Myo Armband a obținut cel mai rapid timp pentru obiectul 1 și obiectul 3, în timp ce consola de învățare a avut cel mai rapid timp pentru obiectul 2.
- Consola de învățare a obținut scoruri mai bune în ceea ce privește precizia de poziționare pentru toate cele trei obiecte.

Testul 2 - Atingerea celor patru repere (bețe):

- Consola de învățare a avut un timp mediu mai scurt în comparație cu Myo Armband pentru atingerea celor patru repere. Cu toate acestea, timpul cel mai rapid a fost obținut cu Myo Armband.
- Precizia nu a fost măsurată în mod specific în acest test, deoarece aceasta era o cerință obligatorie pentru finalizarea testului.

Testul 3 - Preluarea și plasarea unui obiect (sticlă PET) în cutie:

- Timpul mediu pentru preluarea și plasarea sticlei PET în cutie a fost mai bun cu Myo Armband.
- Consola de învățare a obținut scoruri mai bune în ceea ce privește precizia pentru acest test.

Analiza multicriterială cu ponderi egale pentru timp și precizie a relevat că, în funcție de complexitatea sarcinilor, un dispozitiv era mai bun decât celălalt. Myo Armband a excelat în sarcinile mai simple, în timp ce consola de învățare a fost preferată pentru sarcinile mai complexe.

Concluzii:

- Participanții au avut opinii diferite cu privire la dispozitivele preferate în funcție de experiențele și preferințele lor personale.
- Cei mai mulți participanți au considerat că Myo Armband oferă o experiență mai intuitivă și mai directă, în timp ce consola de învățare necesită mai mult timp pentru a programa.

Acestea sunt rezultatele și concluziile principale ale evaluărilor efectuate asupra dispozitivelor de control al roboților industriali: Myo Armband și consola de învățare.

CAPITOLUL 7 – CONCLUZII FINALE. CONTRIBUȚII PERSONALE. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

Această lucrare de cercetare explorează o abordare inovatoare pentru controlul roboților industriali prin utilizarea brățării Myo Armband. Cercetarea s-a desfășurat pe două tipuri de roboți: KUKA KR15 și Universal Robots UR10e. Scopul a fost să se testeze viabilitatea controlului acestor roboți prin captarea semnalelor musculare și a mișcărilor brațului utilizatorului cu ajutorul brățării Myo Armband.

În urma experimentelor, s-a constatat că roboții UR10e sunt mai adecvați pentru această metodă de control, deoarece permit mișcări mai fluide și mai naturale. Astfel, obiectivul O1 al cercetării, referitor la alegerea roboților potriviți pentru această abordare, a fost atins.

După optimizarea sistemului de control, s-au efectuat trei serii de teste pentru a evalua performanța roboților în funcție de timp și precizie, atât cu brățara Myo Armband, cât și cu o consolă de învățare convențională. Rezultatele au indicat că, în ciuda performanțelor superioare ale consolei de învățare din punct de vedere tehnic, utilizatorii au preferat experiența de utilizare oferită de brățara Myo Armband. Acest lucru subliniază importanța interacțiunii naturale și a experienței plăcute pentru utilizatori, demonstrând atingerea obiectivului O2 al cercetării.

Obiectivul O3, referitor la colectarea impresiilor și opiniilor utilizatorilor cu privire la experiența de utilizare a brățării Myo Armband și a consolei de învățare, a fost atins prin intermediul unui chestionar completat de către utilizatori după finalizarea testelor. Acest chestionar a fost proiectat astfel încât să permită participanților să-și exprime opinia fără a fi influențați de rezultatele obiective ale testelor. Astfel, obținând opinii directe de la utilizatori cu privire la experiența lor, cercetătorul a reușit să evalueze nivelul de satisfacție și preferințele acestora în ceea ce privește modul de control.

În ceea ce privește obiectivul O4, care se referă la analiza comparativă între rezultatele obținute din chestionare și performanțele măsurate, cercetătorul a realizat o analiză detaliată a feedback-ului utilizatorilor și a corelat acest feedback cu datele măsurate în timpul testelor. Acest demers a avut scopul de a identifica eventuale discrepanțe între percepțiile utilizatorilor și rezultatele concrete, cu accent pe măsurători precum timpul de efectuare a testelor și precizia mișcărilor.

De-a lungul analizei, s-a observat o relație între percepțiile subiective ale utilizatorilor și performanțele lor măsurate. De exemplu, utilizatorii care au raportat că brățara Myo Armband este mai ușor de folosit au înregistrat și timpi mai buni în cadrul testelor, în timp ce cei care au menționat că consola de învățare are o precizie mai bună au obținut scoruri mai ridicate la testele de precizie. Cu toate acestea, au existat și situații în care utilizatorii au ales brățara Myo Armband ca dispozitiv preferat, chiar dacă au obținut performanțe superioare cu consola de învățare, sau invers. Aceste discrepanțe subliniază importanța experienței subiective a utilizatorului și influența acesteia asupra percepției generale în ceea ce privește eficacitatea dispozitivelor.

Astfel, prin analiza atentă a corelației dintre percepțiile subiective și performanțele obiective, obiectivul O4 a fost îndeplinit prin evidențierea importanței prioritizării experienței de utilizare în raport cu performanțele pure ale dispozitivelor de control al roboților.

Contribuțiile autorului au fost semnificative în ceea ce privește dezvoltarea programelor de control și integrarea cu roboții. Acesta a creat programe complexe pentru preluarea semnalelor de la brățara Myo Armband și traducerea acestora în mișcări precise ale roboților, pe axele lor de mișcare. De asemenea, autorul a realizat un sistem de operare virtual care permite controlul simultan al două brățări Myo Armband și a dezvoltat programe pentru interpretarea semnalelor și coordonarea mișcării roboților.

De-a lungul cercetării, au apărut și provocări, precum lipsa unui protocol de comunicare eficient pentru unul dintre roboți sau necesitatea de a dispune de echipamente mai noi pentru a putea testa soluțiile propuse. Cu toate acestea, aceste obstacole au fost depășite datorită eforturilor autorului și sprijinului financiar obținut de la compania DRĂXLMAIER.

În privința direcțiilor viitoare de cercetare, se propune dezvoltarea unui control mai precis al orientării robotului industrial. De asemenea, se intenționează explorarea unor metode avansate de control, cum ar fi utilizarea dispozitivelor precum Kinect, Leap Motion, Gamepad Xbox sau chiar tehnologii de citire a semnalelor cerebrale pentru a manipula roboții UR10e. Autorul se angajează să continue aceste cercetări pentru a evalua eficiența și aplicabilitatea acestor metode în diferite contexte.

CAPITOLUL 8 – Bibliografie

- [1] K. Capek, *Rossum's Universal Robots*, translated by Paul Selver. 1923.
- [2] T. R. Kurfess, *Robotics and automation handbook*, vol. 414. CRC press Boca Raton, FL, 2005.
- [3] I. Margolius, "The robot of Prague," *The Friends of Czech Heritage*, 2017. <https://czechfriends.net/images/RobotsMargoliusJul2017.pdf>. (accessed Jun. 09, 2019).
- [4] K. Vijay, "K. Vijay, Introduction to robotics." University of Pennsylvania., Philadelphia, USA.
- [5] S. B. Niku, *Introduction to robotics: analysis, control, applications*. John Wiley & Sons, 2020.
- [6] M. Vukobratovic, *Introduction to robotics*. Springer Science & Business Media, 2012.
- [7] IFR, "Executive Summary World Robotics 2-2022," 2022. https://ifr.org/img/worldrobotics/Executive_Summary_WR_Industrial_Robots_2022.pdf (accessed Jun. 13, 2023).
- [8] A. Kazi, J. Bunsendal, D. Haag, R. Baum, and R. Bischoff, "Next generation teach pendants for industrial robots," *Advances in Human-Robot Interaction*, pp. 47–66, 2005.
- [9] Z. Zhang, "Microsoft kinect sensor and its effect," *IEEE multimedia*, vol. 19, no. 2, pp. 4–10, 2012.
- [10] M. Banda, V. Ciupe, C. Moldovan, I. Maniu, and R. Kristof, "Investigations on collaborative remote control of virtual robotic manipulators by using a Kinect v2 sensor," in *ITM Web of Conferences, EDP Sciences*, 2019, p. 03004.
- [11] R. V Aroca, A. Péricles, B. S. de Oliveira, L. Marcos, and G. Gonçalves, "Towards smarter robots with smartphones," in *5th workshop in applied robotics and automation, Robocontrol, Citeseer*, 2012, pp. 1–6.
- [12] J. Lambrecht, M. Chemnitz, and J. Krüger, "Control layer for multi-vendor industrial robot interaction providing integration of supervisory process control and multifunctional control units," in *2011 IEEE Conference on Technologies for Practical Robot Applications*, IEEE, 2011, pp. 115–120.
- [13] M. Safeea and P. Neto, "Kuka sunrise toolbox: Interfacing collaborative robots with matlab," *IEEE Robot Autom Mag*, vol. 26, no. 1, pp. 91–96, 2018.
- [14] Thalmic Labs, "Thalmic Myo Presskit." <https://www.thalmic.com/press> (accessed Apr. 13, 2018).
- [15] Ultraleap, "Leap Motion Controller TM." <https://www.ultraleap.com/product/vr-developer-mount/> (accessed Jun. 13, 2023).
- [16] Z. Lu, X. Chen, Q. Li, X. Zhang, and P. Zhou, "A hand gesture recognition framework and wearable gesture-based interaction prototype for mobile devices," *IEEE Trans Hum Mach Syst*, vol. 44, no. 2, pp. 293–299, 2014.
- [17] KUKA Robot Group, *KR 15 SL Specification*. 2006.
- [18] Thalmic Labs, "Myo techspecs." <https://www.myo.com/techspecs> (accessed May 08, 2018).
- [19] Universal Robots, "UR10e Medium-sized, versatile cobot." <https://www.universal-robots.com/products/ur10-robot/> (accessed May 20, 2023).
- [20] R. Kristof, V. Ciupe, C. Moldovan, I. Maniu, M. Banda, and A. M. Stoian, "Arduino mobile robot with Myo Armband gesture control," *SACI 2019 - IEEE 13th International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics, Proceedings*, pp. 294–297, May 2019, doi: 10.1109/SACI46893.2019.9111627.

- [21] R. Kristof, V. Ciupe, C. Moldovan, I. Maniu, M. Banda, and A. M. Stoian, “On the design of a myoelectric human-machine interface for the control of an industrial robot,” SACI 2019 - IEEE 13th International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics, Proceedings, pp. 291–294, May 2019, doi: 10.1109/SACI46893.2019.9111521.