

RAPORT ȘTIINȚIFIC ȘI TEHNIC, ETAPA 4(2020) PROIECT 1

Proiectarea, modelarea și simularea în funcționare a configurațiilor distribuite de senzori și sisteme servoing vizuale de pe sistemele autonome complexe (CAS-SI, CAS-ARP, CAS-VAM) destinate tehnologiilor de asistare personală medico-socială, intra/extra spital și acasă.

Etapa 4: Testarea, prin simulare și timp-real, în regim de laborator, a tehnologiilor integrate de asistare medico-socială și deservire de linii de fabricație flexibilă de precizie

Activitatea 4.1 Testarea funcțională în timp real a sistemul senzorial integrat. Diseminare rezultate

Activitatea 4.1. Testarea funcțională în timp real a sistemul senzorial integrat. Diseminare rezultate

4.1.1 Interfață om-mașină pentru controlul brațului robotic pentru persoane cu nevoi speciale

Scopul nostru este de a extinde interfața de control a scaunului inteligent prezentată în rapoartele precedente, prin adăugarea posibilității ca utilizatorul să controleze un braț robotic. Abordarea noastră pentru implementarea acestei funcționalități constă în crearea unui meniu inteligent și intuitiv care să ajute utilizatorul să treacă de la un mod de operare la altul: mișcarea scaunului cu roțile și controlul brațului robotic. Această interfață conține, de asemenea, un buton pentru o mișcare predefinită, pe care am numit-o "Parking". Această acțiune va reține brațul robotic într-o poziție în care nu se poate ciocni cu obstacolele din jur. Utilizatorul poate selecta această acțiune în timpul utilizării interfeței, dar această acțiune va fi executată automat atunci când utilizatorul iese din meniul de control al brațului robotic.

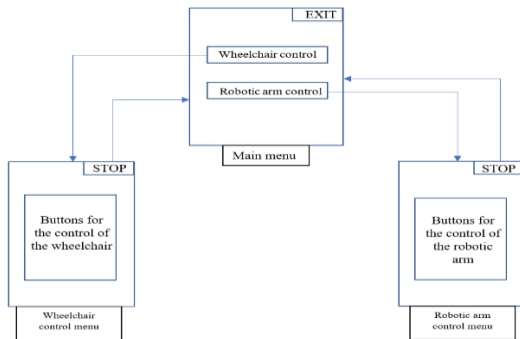


Fig. 4.1.1. Diagrama interfeței cu utilizatorul



Fig. 4.1.2. Interfața cu utilizatorul pentru modul cartezian (stanga) și modul "Joint" (dreapta)

Toate comenzile interfeței sunt etichetate în mod corespunzător, astfel încât utilizatorul scaunului cu roțile să poată distinge fiecare buton și rolul acestuia.

Pe efulor final al brațului robotic, am montat o cameră web, astfel încât utilizatorul să aibă o vedere clară a direcției brațului robotic fără a fi nevoie să schimbe privirea între interfață și poziția curentă a brațului (Fig. 4.1.4). Imaginile de la camera web sunt afișate ca fundal pentru interfață, iar butoanele au o culoare transparentă, astfel încât cele două componente, butoanele și imaginea de fundal, să nu interfereze una cu cealaltă, oferind o vedere clară pentru utilizator.



Fig. 4.1.4. Camera web montată pe efulor final și imaginea afișată pe interfață

Brațul robotului poate fi utilizat, în faza actuală de dezvoltare, pentru a ajuta utilizatorul în interacțiunile obișnuite de bază, cum ar fi deschiderea ușilor, ținerea unei cărți pentru a fi citită sau prinderea unei sticle cu apă (Fig. 4.1.11).

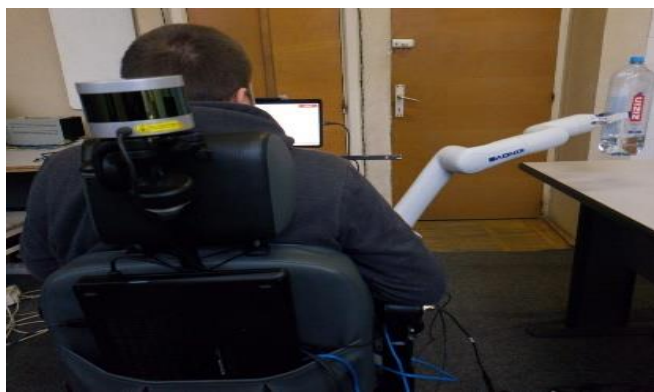


Fig. 4.1.11. Activități zilnice cu ajutorul brațului robotic atașat la scaunul cu roțile

4.1.2 Simularea deplasării platformei mobile în medii cu obstacole statice, prin aplicarea algoritmului potențialului pe un spațiu tridimensional scanat cu ajutorul unui dispozitiv LIDAR

Cu ajutorul unui dispozitiv LIDAR (Velodyne LiDAR Puck 16) au fost scanate o serie de spații tridimensionale, aflate în interiorul Facultății, care conțin și obstacole statice (elemente de structură ale clădirii, alveole și intrânduri, căi de acces către alte spații ale clădirii).

Au fost obținute înregistrări și au fost efectuate teste pentru o serie de scenarii: deplasarea pe holul departamentului (figura 4.2.1), identificarea zonelor de trecere dintr-un spațiu în alt spațiu (de tipul căilor de acces, ușilor – figura 4.2.2), sau deplasarea într-un spațiu de tip foaier (figura 4.2.3). Au fost realizate achiziții pe zone, pentru navigație locală în timp real (figurile 4.2.1 și 4.2.2), cât și achiziție de date de tip cartografiere - achizițiile zonale au fost fuzionate într-o regiune cartografiată, rezultând o hartă a spațiului pe unde platforma mobilă s-a deplasat (figura 4.2.3). Deoarece pentru spațiile interioare utilizarea unei localizări în coordonate absolute a platformei este defectuoasă (utilizarea unui dispozitiv GPS va conduce la erori mari de localizare, datorită semnalului GPS foarte slab), s-a preferat utilizarea LIDAR-ului împreună cu un senzor de tip compas, care să ofere informații privind orientarea platformei mobile, precum și cu un algoritm de procesare inter-scanări, care să determine sensul și amplitudinea deplasării platformei mobile în spațiu.

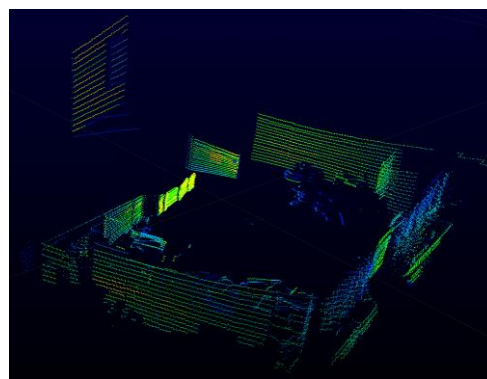
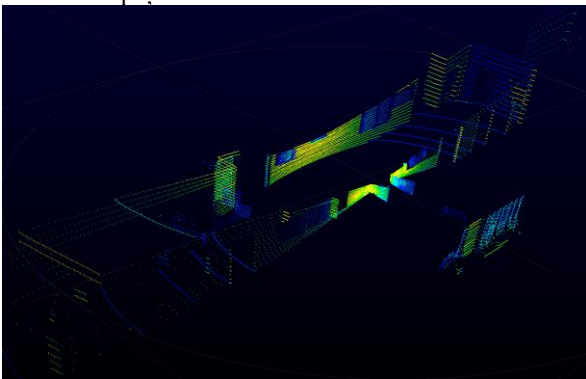


Figura 4.2.2 – Trecerea într-un spațiu (imaginea din stanga – hol) în alt spațiu (imaginea din dreapta – laborator)

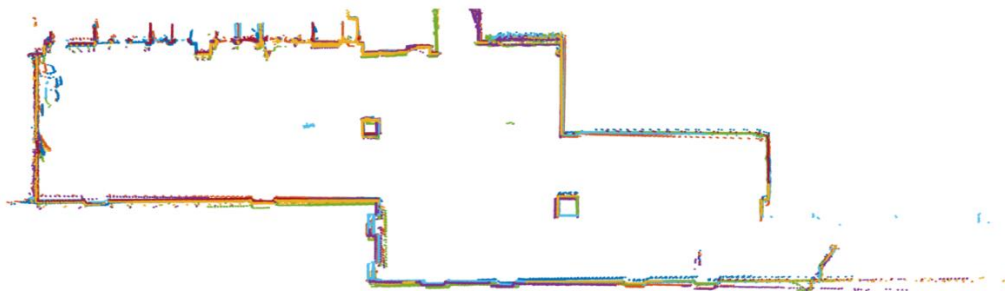


Figura 4.2.3 – Spațiul tridimensional scanat cu dispozitivul Lidar LiDAR Puck VLP-16

Înregistrările efectuate au fost importate în mediul Simulink Matlab. Algoritmii de control bazat pe metoda câmpului de potențial artificial propus ca rezultat al Activității A 4.1 a proiectului a fost implementat în mediul Simulink Matlab.

Au fost generate traiectorii de deplasare a platformei mobile în regim autonom, impunându-se diferite perechi de puncte (start, destinație), pentru diferite scenarii. Două dintre traiectoriile obținute prin aplicarea algoritmului de control bazat pe metoda câmpului de potențial artificial pentru regiuni cartografiate sunt reprezentate în figurile 4.2.5 și 4.2.6.

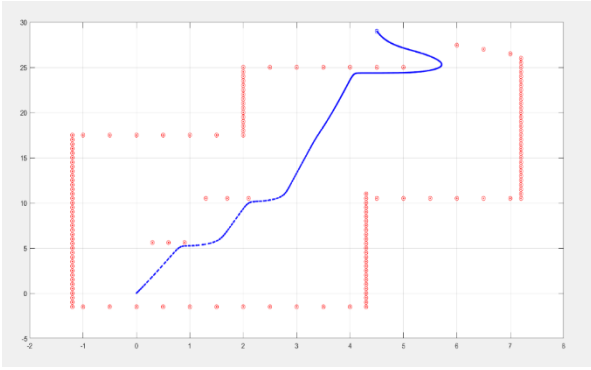


Figura 4.2.5 – Traiectoria de deplasare a platformei mobile în regim autonom între punctele Ps₁ și Pt₁

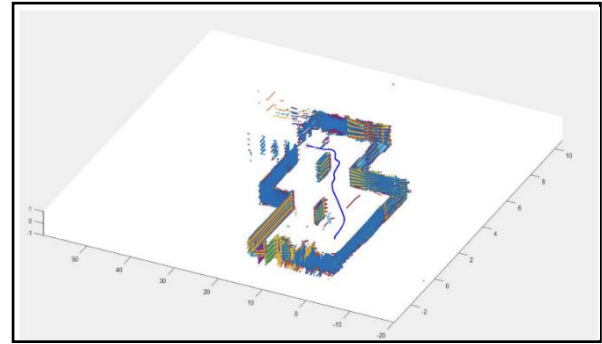


Figura 4.2.6 – Traiectoria de deplasare a platformei mobile în regim autonom între punctele Ps₂ și Pt₂

4.1.3. Controlul fuzzy al robotului de asistență Kinova Gen3 lite pentru persoanele cu nevoi personale

Scaunele cu roțile robotizate inteligente și autonome sunt o combinație între brațul robotic și mișcările automate ale algoritmilor care permit utilizatorului să folosească scaunul cu roțile pentru navigare automată și nu numai. Aceste sisteme par ideale pentru persoanele cu dizabilități locomotorii, dar există o lipsă de astfel de sisteme pe piață. Fără îndoială, s-au făcut multe tipuri de cercetări și s-au construit multe prototipuri, dar acest tip de compus nu este atât de mult utilizat. Astfel, nu există multe proiecte din această categorie care să se numere printre cele mai dificile sisteme dezvoltate. Compunerea algoritmilor și utilizarea manipuletoarelor robotizate reprezintă o sarcină dificilă pentru o singură persoană. Nu există multe echipe care să lucreze la crearea acestui tip de sistem.

Practic, scaunul robotizat propus este un robot mobil care poate transporta o persoană. Acesta este echipat cu mai mulți senzori pentru evitarea obstacolelor, construirea de hărți, localizare, detectarea oamenilor etc. De asemenea, este echipat cu controlere de motoare și alte dispozitive de acționare pentru controlul mișcării.

Robotul de asistență Kinova Gen3 lite

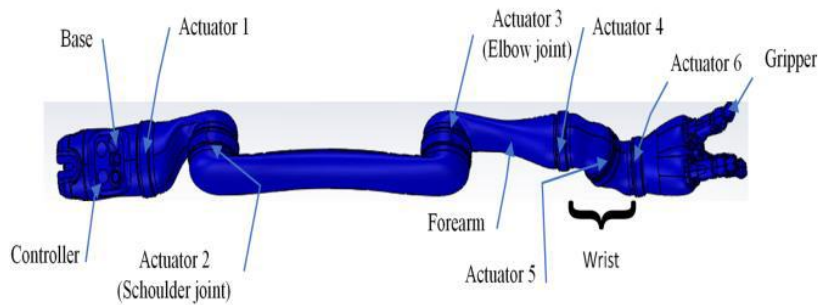


Fig. 4.3.1 Componentele principale ale robotului KINOVA Gen3 lite. Simulare CAD

A fost dezvoltat un control fuzzy pentru brațul atașat la scaunul cu roțile electric, pe care îl considerăm mai potrivit pentru o persoană cu dizabilități locomotorii. De asemenea, prezentăm câteva teste de simulare 3D. Brațul robotizat controlat are un nivel de redundanță (braț cu 6 grade de libertate fără a lua în considerare gradele mâinii), pe care îl considerăm eficient în manipulările în mediul liber. Sistemul de control dezvoltat în cercetările noastre anterioare, în care am studiat un braț ideal continuu, permite introducerea metodelor fuzzy în implementarea reguletoarelor. Analiza fuzzy se va face în cazul în care poziția dorită este staționară. Punctul de plecare al lucrării este dezvoltarea unei legi de control fuzzy care pornește de la controlul dinamic convențional prin formarea relațiilor. S-a propus un sistem de control în buclă închisă pentru a obține poziția dorită folosind modelul matematic al robotului ca:

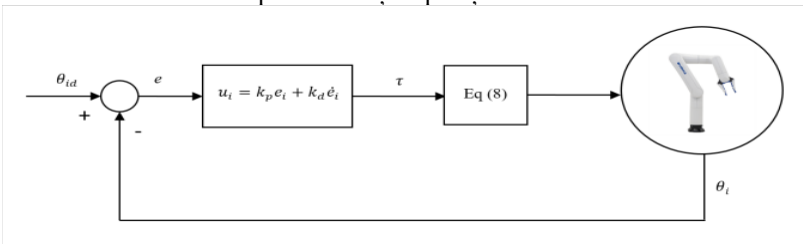


Fig. 4.3.4 Sistem de control în buclă închisă pentru a obține poziția dorită a brațului robotului

Teste simulare. Sistemul de referință inerțial pentru mișcările robotului este considerat sistemul de referință de la nivelul bazei mobile a scaunului cu roțile. Rezultatele simulării sunt ilustrate sugestiv în Fig. 3.3.14, care poate urmări pozițiile inițială, finală și, respectiv, intermediară. Considerăm că poziția inițială a robotului este ridicată până la poziția verticală maximă. Robotul este controlat să se deplaseze până la o poziție intermediară în care ia paharul. Robotul este

apoi manipulat pentru a se deplasa în poziția finală (poziția dorită), și anume aducerea paharului la persoană.

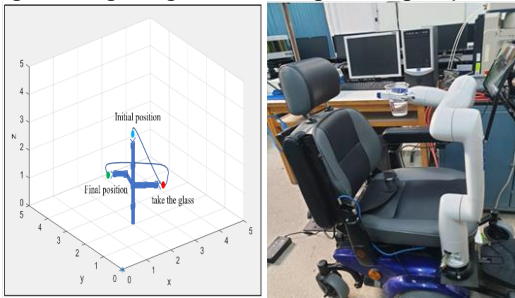


Fig. 4.3.6 Testul 1: Robotul aduce un pahar persoanei din scaunul cu roțile

Cel de-al doilea test simulat și efectuat pe robotul fizic constă în introducerea unui ștecher în priză. Rezultatele simulării sunt ilustrate sugestiv în figura 4.3.7, care poate urmări pozițiile inițiale și finale. Condițiile de simulare sunt similare cu cele de la primul test.

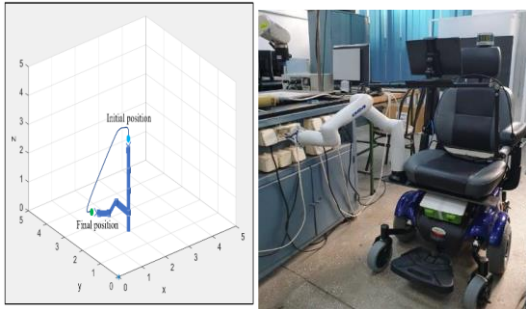


Fig. 4.3.7 Robotul introduce un ștecher în priză

4.1.4. Testarea, prin simulare și timp-real, în regim de laborator, a sistemului senzorial pentru platforma mobilă

O altă alternativă pentru testare a sistemului senzorial, a fost participarea unei echipe de studenți, sub tutela membrilor din echipa proiectului, la competiția Bosch Future Mobility Challenge, 2021. Bosch Future Mobility Challenge este o competiție tehnică internațională organizată de Centrul de Inginerie Bosch din Cluj, România. Prima competiție a fost organizată în 2017-2018. Obiectivul principal al competiției este dezvoltarea algoritmi de conducere autonomă și implementarea acestora pe vehicul la scara 1/10. Competiția are o cronologie clară, care se întinde pe șase luni. În acest timp, echipa trebuie să pregătească patru documentații tehnice, în care să prezinte modul în s-au atins etapele impuse în ceea ce privește definirea responsabilităților, programarea sarcinilor, tactici de rezolvare a problemelor, algoritmi și abordări utilizate pentru implementarea soluției alese, rezultate, probleme întâmpinate. Ca rezultate care trebuie obținute: algoritm de conducere autonomă inclusive păstrarea benzii pe direcția de deplasare, logica de traversare a unei intersecții, detectarea semnelor, evitarea coliziune, pe tot parcursul în care platforma mobile se deplaseaza. După prezentarea și trecerea celei de-a patra documentație tehnică, sunt programate două săptămâni de runde de antrenament și eliminare (TER). Un număr maxim din doi membri din fiecare echipă li se permite să participe la TER.

a)

b)



Fig.4.3.1 a) Model de deep learning care detectează semnele de circulație (trecere de pietoni, parcare, prioritate și oprire semn), b) Algoritm de procesare a imaginii pe pista de curse reală, detectarea indicatoarelor rutiere, a liniilor de bandă și calculând unghiul de virare

Categorie activitate: A2 – Cercetare industrială

Rezultate așteptate

- Rezultate teste funcționale.

-Produse noi integrate în tehnologii hibride; structuri de ofertă de servicii de cercetare privind integrarea în tehnologii hibride (prezentare în platforma erris a instituțiilor partenerare în consorțiu);

-Soluțiile integrate în tehnologii hibride pentru platforme mobile vor fi incluse în programul comun de CDI corelat cu planul de dezvoltare instituțională al fiecărui partener din consorțiu;

CONCLUZII

Raportul științific detaliat pune în evidență soluțiile științifice pe care echipa de lucru a Proiectului 1 le ofera pentru cerințele Etapei 4. În raportul științific detaliat încărcat pe platforma proiectului P1 (<http://cidsactech.ucv.ro/data/uploaded/Documente/RAPORT%20CIDSACTEH%20P1%202019%20UCV.pdf>), se pot vizualiza soluțiile/rezultatele pentru cercetări aferente Etapei 4. Proiect 1 “Conducerea inteligentă și distribuită a 3 sisteme autonome complexe integrate în tehnologii emergente către asistare personală medico-socială și deservire de linii de fabricație flexibilă de precizie”.

DISEMINARE Articole (ISI sau BDI) - <http://cidsactech.ucv.ro/index.php/Publicatii>

BDI – IEEE XPLORE

1) *APF-based Control for Obstacle Avoidance in Smart Electric Wheelchair Navigation*, Liviu Florin Manta; Cristina Floriana Pană; Dorian Cojocaru; Ionel Cristinel Vladu; Daniela Maria Pătrașcu-Pană; Andrei Dragomir, 22nd International Carpathian Control Conference (ICCC), DOI:10.1109/ICCC51557.2021.9454660, 2021 (în curs de indexare)

2) *Fuzzy Control of the Robotic Arm for a Smart Electric Wheelchair to Assist People with Movement Disabilities*, Cristina Floriana Pană; Daniela Maria Pătrașcu-Pană; Ionel Cristinel Vladu; Liviu Florin Manta; Florina-Luminița Besnea Petcu; Ștefan Irinel Cismaru; Andrei Costin Trășculescu, 2021 22nd International Carpathian Control Conference (ICCC) DOI:10.1109/ICCC51557.2021.9454626 (în curs de indexare)

3) *Human-Machine Interface for Controlling a Light Robotic Arm by Persons with Special Needs*, Andrei Dragomir; Cristina Floriana Pană; Dorian Cojocaru; Liviu Florin Manta, 2021 22nd International Carpathian Control Conference (ICCC) DOI: 10.1109/ICCC51557.2021.9454664 (în curs de indexare)

4) *Interdisciplinary technical competitions – a case study*, Andrei Dragomir, Liviu Florin Manta, Alexandru Mariniuc and Dorian Cojocaru, EAEEIE 2021 - 30th Annual Conference of the European Association for Education in Electrical and Information Engineering (EAEEIE), ISBN 978-1-7281-9327-4/21/ 2021 IEEE (în curs de indexare)

PREZENTAREA STRUCTURII OFERTEI DE SERVICII DE CERCETARE SI TEHNOLOGICE CU INDICAREA LINK-ULUI DIN PLATFORMA ERRIS. SERVICII DE CERCETARE SI TEHNOLOGICE

Denumire. *Servicii de proiectare asistată a platformelor mobile pentru persoane cu dizabilitati*

Servicii de integrare și interfațare a sistemelor senzoriale în arhitecturi de conducere pentru platforme mobile destinate persoanelor cu dizabilitati. **Link:** <https://erris.gov.ro/Computer-Aided-Design-CAD--C>

PROIECT 2

”Modelarea, simularea și implementarea configurațiilor distribuite de senzori și sisteme servoing vizuale destinate tehnologiilor hibride pentru produse reutilizabile pe linii de fabricație flexibilă, de precizie, de laborator (linii de mecatronică) și industriale, cu sisteme autonome complexe integrate”

Etapa 4 (2021). Testarea, prin simulare și timp-real, în regim de laborator, a tehnologiilor integrate de asistare medico-socială și deservire de linii de fabricație flexibilă de precizie

Rezumatul etapei. În această etapă a fost desfășurată o singură activitate, cf. Planului de realizare a proiectelor componente : Activitatea 4.2: Testare în laborator în timp real a sistemelor autonome complexe SAC-ARP și SAC-VAM. Această activitate a continuat experimentările începute în etapa 3, activitatea 3.8, privind Valorificarea rezultatelor testării în vederea optimizării conducerii liniilor de asamblare/dezasamblare asistate de platforme robotice colaborative din categoriile SAC-ARP și SAC-VAM. Pentru această activitate au fost efectuate teste care să permită validarea unor proceduri de conducere a unui robot autonom mobil care să poată asigura operații de transport de piese ca auxiliar la operațiile de asamblare/dezasamblare efectuate pe linia flexibilă de laborator.

Complementar, au fost elaborate lucrări științifice pentru diseminarea rezultatelor finale și s-a înaintat o propunere de brevet.

Descrierea științifică și tehnică. Activitatea 4.2: Testare în laborator în timp real a sistemelor autonome complexe SAC-ARP și SAC-VAM. 4.2.1. Configurația sistemului de testare

În cadrul etapei 3.8 a fost prezentat robotul autonom Robotino, care a fost utilizat în experimente care au validat capacitățile funcționale care îi permit să fie utilizat ca echipament auxiliar în deservirea liniei mecatronice de laborator pentru operații de asamblare/dezasamblare. Prezentăm în sinteză testele care au fost efectuate și rezultatele obținute. Am utilizat în teste robotul mobil ROBOTINO (fig.1), produs de Festo Didactic, un produs care este compatibil cu obiectivele proiectului pentru utilizarea în aplicații avansate în domeniile sistemelor autonome de robot mobil. Folosind un actuator omnidirecțional, Robotino se deplasează rapid înainte, înapoi și lateral și, de asemenea, se rotește pe loc. Trei motoare de curent continuu industriale robuste cu codificatoare rotative optice permit viteze de până la 10 km / h cu fiabilitate ridicată. Cadrul de bază conține nouă senzori de distanță în infraroșu și numeroase opțiuni de montare. Un senzor analog inductiv și doi senzori optici sunt incluși suplimentar, permițând Robotino să recunoască și să urmeze căi predefinite. Robotino este livrat cu un sistem extins de procesare a imaginilor, care utilizează o unitate de cameră stereo / RGB-D pentru a percepe independent mediul și poate naviga liber în el. Aceste funcții autonome pot fi integrate perfect în programele bazate pe analiza fluxului de lucru. Testele efectuate în faza 3.8 au validat procedurile funcționale de bază de conducere a unui robot autonom mobil care să poată asigura operații de transport de piese ca auxiliar la operațiile de asamblare/dezasamblare efectuate pe linia flexibilă de laborator: i. Funcția de creare traseu; ii. Funcția de redare a poziției actuale; iii. Funcția de ocolire obstacol; iv. Funcția de mapare.



Fig.1 Robotino 4 – Festo Didactic

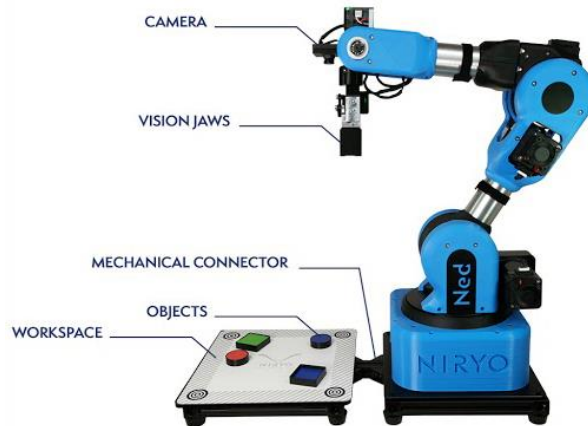


Fig. 2. Ned – Nyrio Didactic

Controlul pozitiei robotului este dat de existenta unui odometru prin care este calculata pozitia, acesta avand ca date de intrare coordonate de la care se incepe deplasarea robotului si ofera ca date de iesire pozitia actuala a robotului. Rotația roților este măsurată cu cea mai mare rezoluție de timp posibilă. În fiecare moment distanța parcursă de vehicul este calculată în funcție de viteza de rotație a roților. Acest lucru duce la poziția reală față de poziția inițială. Această metodă produce performanțe locale bune. Suplimentar a fost testată și validată funcția de ocolire a obstacolelor. Aceasta se poate folosi când în spațiul de lucru al robotului există un obstacol fix; cu ajutorul coordonatelor obstacolelor, robotul le poate evita, calculând drumul cel mai scurt pe care poate face acest lucru. Funcția poate fi folosită și dinamic, ocolirea obstacolelor ce apar aleator în spațiul de lucru se poate face preluând date de la senzorii de distanță, în număr de 9, amplasați circular pe suprafața robotului. Deoarece Robotino nu are capacitatea de a manipula obiecte, pentru testele privind suportul liniilor de asamblare/dezasamblare s-a folosit asocierea robotului mobil cu un robot fix denumit Ned produs de firma Nyrio (fig.3). Ned este un braț de robot colaborativ pe 6 axe (cobot) conceput pentru educație și cercetare. Ned este conceput pentru a reproduce toate mișcările necesare în cele mai avansate utilizări din industria 4.0, cu o precizie de 0,5 mm și o repetabilitate de 0,5 mm. Acest cobot profită de capacitățile Raspberry Pi 4, cu un procesor de înaltă performanță ARM V8 pe 64 de biți, 2 GB RAM și o conectivitate îmbunătățită. Folosește ROS (Robot Operating System) Melodic, o soluție open-source creată pentru robotică.



Fig. 3. PIRM - sistem robotic didactic de tip SAC-ARP

Asocierea celor doi roboți didactici (Robotino 4®, Nyrio Ned®) într-un singur echipament denumit Platforma Inteligentă de Robot Mobil (PIRM) – vezi fig. 3 - este un sistem robotic didactic care poate fi considerat o versiune de laborator a unui SAC-ARP (Sistem autonom complex - Asistent Robotic Personal) care poate fi utilizat pentru manipularea și mutarea obiectelor. PIRM oferă posibilitatea de a crea și implementa comportamente diferite ale unui sistem care poate fi utilizat în diferite acțiuni. Posibilitatea de programare în aplicații software special create (Robotino Factory pentru Robotino 4® și Nyrio Studio pentru Nyrio Ned®) oferă un mediu favorabil pentru învățarea și simularea în laborator a proceselor industriale. Comunicarea a fost stabilită utilizând protocolul de comunicație Modbus TCP, API-urile Modbus TCP și un automat programabil. Astfel, PIRM poate fi comandat extern (de ex. printr-o Interfață Om-Mașină) și poate fi programat pentru a executa sarcini dificile în diferite moduri, cum ar fi evitarea obstacolelor, transportul obiectelor, manipularea obiectelor fine sau mișcarea precisă.

4.2.2. Programarea modurilor de lucru pentru robotul mobil prin Robotino Factory

Pentru a face înțeles modul de programare al operațiilor, se prezintă un exemplu simplu de program care va face robotul mobil să avanseze și să-și schimbe direcția de mișcare atunci când detectează un obstacol în fața sa. Acest program se realizează în doi pași.

Vom redenumi blocul „Step1” cu „Forward”. Vrem ca robotul să avanseze în timp ce senzorii de proximitate în infraroșu nu vor detecta un obstacol. Deci, vom crea un nou bloc funcțional apăsând linia evidențiată în caseta verde,

apoi apăsând butonul evidențiat în caseta roșie. Vom redenumi blocul „Step2” nou creat cu „Rotire (Rotation)” și vom obține o schemă așa cum se arată în fig.4.

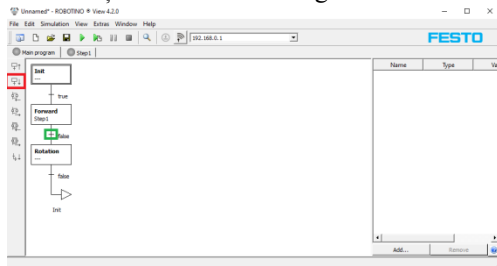


Fig. 4 Executarea pasului Înainte (Forward)

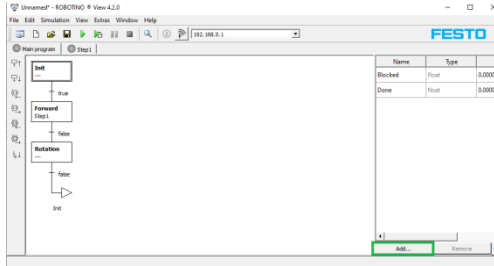


Fig. 5 Adăugarea a două variabile flotante

Vom declara acum două variabile flotante apăsând butonul „Adăugați (Add) ...” evidențiat în caseta verde așa cum se arată mai jos. Vom numi prima variabilă „Blocat (Blocked)” și a doua „Terminat (Done)” (fig.5). Vrem să începem mișcarea „Rotație” atunci când senzorii detectează un obstacol. Deci, când valoarea „Blocat” va fi 1, vom trece de la blocul funcțional „Înainte” la blocul funcțional „Rotație”. Pentru a face acest lucru, vom schimba condiția „falsă” sub blocul funcțional „Înainte” cu „Blocat”. Aceasta este o condiție simplă, ceea ce înseamnă că, dacă „Blocat” este adevărat (sau 1), va începe următorul bloc funcțional. Vom face același lucru cu „Gata”, înlocuind condiția „falsă” de sub blocul funcțional „Rotație” cu aceasta. Saltul „Init” evidențiat în caseta roșie arată că programul pe care îl vom crea va face o buclă nesfârșită între aceste 3 blocuri funcționale.

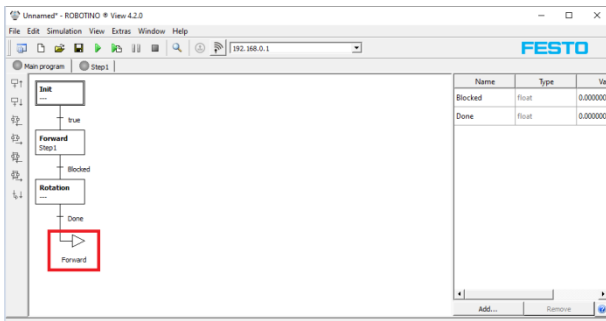


Fig. 6 Oprirea unei faze într-un proces iterativ

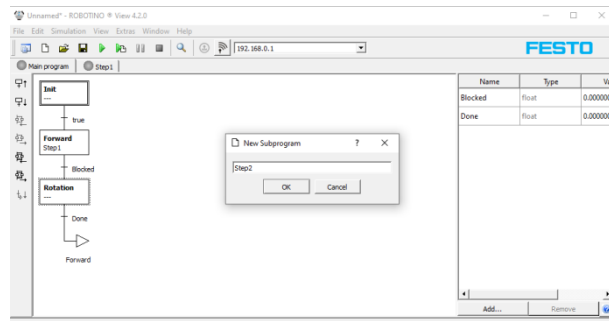


Fig. 7 Transfer la pasul următor al programului

Dacă vrem ca programul să se oprească după o singură iterație, trebuie să înlocuim „Forward” cu „TERMINATE” (fig.6). Putem vedea că blocul funcțional numit „Redirecționat” are deja un spațiu de lucru numit „Pasul 1”. Vom crea un alt spațiu de lucru pentru blocul funcțional „Rotire” făcând dublu clic pe bloc. Vom numi noul spațiu de lucru „Pasul 2”. Vom face același lucru pentru blocul funcțional „Init” și vom numi spațiul său de lucru „Step0” (fig.7). În rezumat, am decis că la pornire, sistemul va începe să se deplaseze înainte și să se rotească atunci când un obstacol este detectat de senzorii de proximitate în infraroșu din față, dacă condiția „Terminat (Done)” este falsă.

4.2.3. Programarea modurilor de lucru pentru bratul robotului fix Ned prin Niryo Studio

Exemplul de mai jos prezintă modul de calcul al unor poziții fixe care vor ajuta la construirea unui program simplu. După conectarea robotului manipulator la punctul de acces, trebuie să-l calibrăm apăsând butonul „Calibrare automată” evidențiat în imaginea de mai jos (Fig 8).

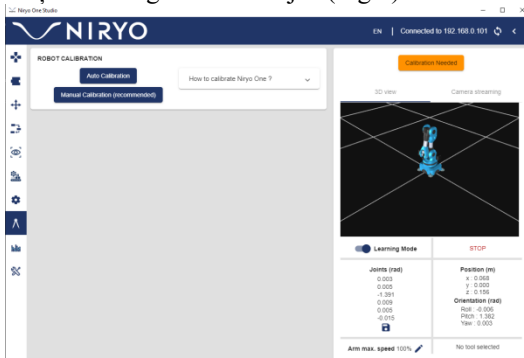


Fig. 8 Autocalibrare

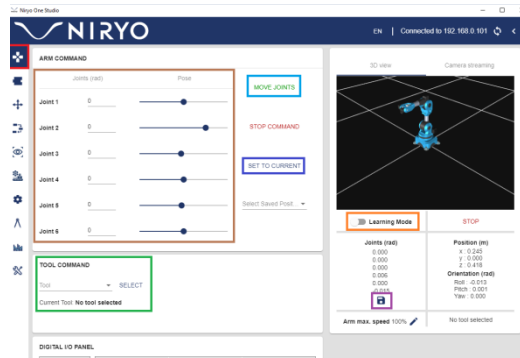


Fig. 9 Comanda bratului robotic

După ce calibrarea este finalizată cu succes, vom face clic pe butonul încadrat în caseta roșie din imaginea de mai jos pentru a ajunge la meniul de configurare a poziției. În primul rând, vom selecta griperul standard așa cum se arată în caseta verde. După selectarea, putem alege să mutăm robotul în poziția implicită (0,0,0,0,0) apăsând butonul „Move Joints (Mutare articulații)” evidențiat în caseta albastru deschis sau putem alege să mutăm manual robotul în poziția dorită apăsând „Learning Mode (Mod de învățare)” încadrat în caseta portocalie. Dacă decidem că dorim să mutăm manual brațul robot în poziția dorită, trebuie să apăsăm din nou butonul „Mod de învățare” după ce poziția a fost stabilită și să apăsăm „Set to current (Actualizare Setare)” așa cum se arată în caseta albastră pentru valorile

articulațiilor pentru a actualiza în mod corespunzător la noua poziție (Fig.9). Dacă dorim să ajustăm poziția virtuală, putem modifica manual parametrii articulației sau putem ajusta parametrii modificând bare glisante așa cum se arată în caseta maro. După ce am decis cu succes o poziție, putem salva apășând butonul marcat de caseta mov.

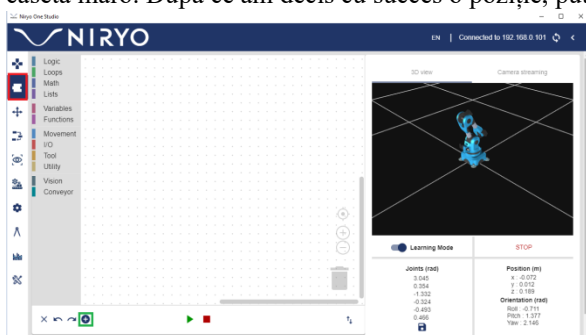


Fig. 10 Lista de functionalitati

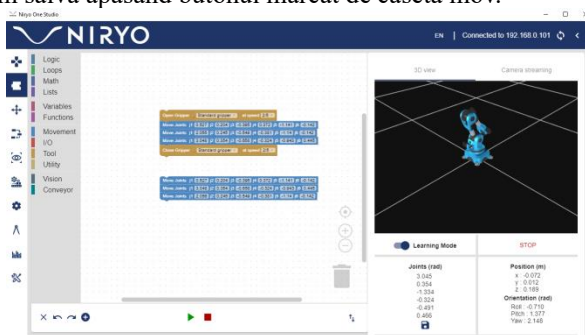


Fig. 11 Repetarea procesului

În acest exemplu vom salva 3 poziții și le vom numi Pos1, Pos2, Pos3. Apoi, vom deschide spațiul de lucru apășând butonul evidențiat în caseta roșie din imaginea de mai jos în care vom crea programul nostru personalizat. În partea stângă a spațiului de lucru, se poate vedea o listă de funcționalități de unde putem alege utilitățile necesare pentru a dezvolta programul. Prin apășarea butonului marcat verde, putem importa o poziție salvată mai devreme (fig.10).

Pentru acest exemplu, dorim ca brațul robot să-și închidă griperul, să parcurgă secvența Pos1-> Pos3-> Pos2 cu deschidere în final a griperului de 5 ori la rând și să execute în mod asemănător secvența Pos1-> Pos2-> Pos3 de 3 ori la rând. Ne propunem să repetăm acest proces de 2 ori. Pentru aceasta, vom adăuga mai întâi pozițiile noastre în spațiul de lucru apășând butonul evidențiat în caseta verde. Apoi, vom trage și uni piesele. Acum, vom apăsa butonul „Tool (Instrument)” și vom trage blocurile „Open gripper ...” și „Close gripper ...” în spațiul de lucru. Acum avem 2 blocuri distincte (fig.11). Vrem ca primul bloc să fie executat de 5 ori la rând, al doilea bloc să fie executat de 3 ori la rând și întregul proces să fie repetat de 2 ori. Pentru aceasta, vom apăsa pe „Loops (Bucle)” și vom folosi blocul „repetă de x ori ...”. Înainte de a intra în buclă, vom folosi un alt bloc numit „Schimbă instrumentul la ...” din „Instrument”. Vom uni piesele așa cum se arată în imaginea din Fig.12 și astfel am terminat programul.

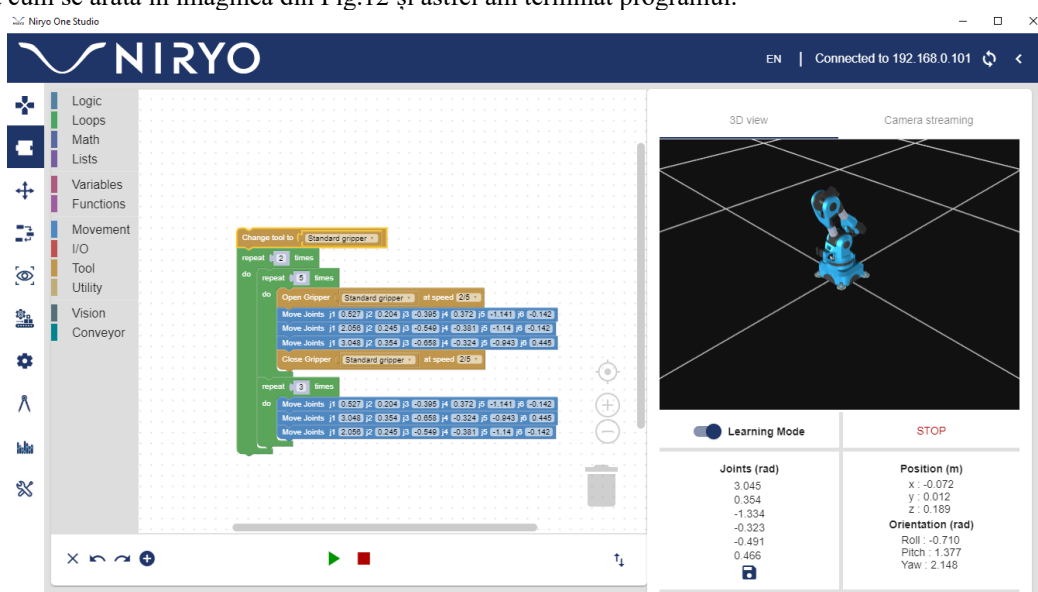


Fig. 12 Inchiderea programului

4.2.4. Comanda externă a PIRM

Pentru operații comandate la distanță, s-a avut în vedere proiectarea unei structuri de interfață de tip om-mașină (HMI – Human Machine Interface). Aceasta entitate a fost numită Interfața de Comandă, Control și Colectare a Informațiilor (ICCCI) pentru o Linie Flexibilă de Asamblare a Produselor. Aceasta interfața a fost inclusă în structura interfeței HMI existentă la nivelul liniei flexibile de asamblare/dezasamblare de laborator (SMART Flexible Assembly System) care reprezintă suportul de validare a rezultatelor obținute în cadrul proiectului CIDSACTEH (fig.13). ICCCI deservește trei obiective: a) comanda – aplicației software realizate în Matlab® denumită IBVSVIEWER (produs original – vezi RTS 2020 – etapă 3); b) controlul – brațului robotic ce deservește linie flexibilă de asamblare a produselor și respectiv a platformei inteligente PIRM (baza Robotino și griper Ned); c) colectarea informațiilor – obținute în urma procesului de analiză a imaginilor achiziționate cu o cameră video.

Ca atare, prin intermediul ICCCI pot fi monitorizate toate etapele necesare conducerii vizuale a unui proces de asamblare/dezasamblare, adică: calibrarea camerei video, detecția obiectelor, validarea obiectelor și determinarea coordonatelor obiectului (poziționarea). În plus, structura interfeței HMI este originală și intuitivă, deoarece permite afișarea simultană (vezi fig. 14) a proceselor de asamblare și dezasamblare implementate la nivelul liniei flexibile de

laborator (pe verticala) si respectiv a etapelor algoritmului aplicației software IBVViewer pentru procesul de asamblare (pe orizontala)



Fig. 13 ICCCI - afișare în HMI

Mentionam ca a fost depusa o propunere de brevet cu titlul: Interfață de comandă, control și colectare a informațiilor pentru o linie flexibilă de asamblare a produselor.

CONCLUZII. Raportul științific pune în evidență soluțiile pe care echipa de lucru a Proiectului 2 le oferă pentru cerințele Etapei 4 (2021). In Raportul științific detaliat încărcat pe platforma proiectului P2 (<http://cidsacteh.upb.ro/index.php/ro/rezultate/19-rapoarte>), se pot vizualiza soluțiile și rezultatele pentru cercetari aferente **Etapei 4. Proiect 2** „Testarea, prin simulare și timp-real, în regim de laborator, a tehnologiilor integrate de deservire de linii de fabricație flexibilă de precizie”.

REZULTATE ETAPA 3. 1. Proceduri de conducere a unui robot autonom mobil în mediu cu obstacole pentru operații de transport de piese la linia mecatronica de laborator de asamblare/dezasamblare.

2. Procedura de testare a reproductibilitatii performantei de pozitionare a platformei robotice mobile

3. Procedura de evaluare a preciziei in procesele robotizate de asamblare/dezasamblare

4. Interfata de tip om-masina de comandă, control și colectare a informatiei pentru o linie flexibilă de asamblare a produselor

INDICATORII DE REALIZARE ATINSI. *Activitatea 4.2.* - Raport de evaluarea a performantei unei platforme robotice inteligente realizata prin asocierea a doua unitati robotice colaborative (coboti) - Manual (Ghid) de utilizare a unei platforme robotice mobile care emuleaza functiile unui Sistem autonom complex - Asistent Robotic Personal - Rapoarte cu rezultatele testării sistemelor autonome complexe în regim de simulare

DISEMINARE

Lucrări elaborate de colectiv in 2020. Articole în reviste (ISI)

1. J.I.R. Cojocaru, D. Popescu: "Image Analysis Algorithm for Image Based Visual Servoing of a Robotic Assembly Line", U.P.B. Sci. Bull., Series C, Vol. 83, Iss. 1, 2021, pp.41-52.WOS – in asteptare.

2. R. Dobrescu, S. Mocanu, O. Chenaru, M. Nicolae, G. Florea, Versatile Edge Gateway for improving manufacturing supply chain management via collaborative networks, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol. 34 Iss. 4, 2021, pp: 407-421, WOS:000617980200001, ISSN: 0951-192X

3. O. Chenaru, S. Mocanu, R. Dobrescu, Using predictive maintenance to enhance antifragile performance of manufacturing systems, Journal of Industrial Manufacturing, manuscript JIMS-D-21-00510 (in evaluare).

Lucrari publicate in volumele unor manifestari stiintifice internationale:

1. G. Cristescu, O. Chenaru, R. Dobrescu, "A holonic approach of manufacturing systems modeling and simulation," 23rd International Conference on Control Systems and Computer Science (CSCS), 2021, pp. 238-242, doi: 10.1109/CSCS52396.2021.00046.

2. M. Crăciunescu, D. Baicu, Ș. Mocanu, C. Dobre, "Determining on-shelf availability based on RGB and ToF depth cameras," 23rd International Conference on Control Systems and Computer Science (CSCS), 2021, pp. 243-248, doi: 10.1109/CSCS52396.2021.00047.

3. V. Mihai, C. Dragana, D. Popescu, L. Ichim, "Condition Monitoring of Manufacturing Production Lines Using Fractal Analysis of Energy Consumption Datasets," 23rd International Conference on Control Systems and Computer Science (CSCS), 2021, pp. 249-253, doi: 10.1109/CSCS52396.2021.00048.

4. A. V. Olteanu, M. Nicolae, "Using advanced V2X communication technologies in self-organized VANETs," 23rd International Conference on Control Systems and Computer Science (CSCS), 2021, pp. 254-259, doi: 10.1109/CSCS52396.2021.00049.

5. R-A. Luchian, G. Stamatescu, I. Stamatescu, I. Fagarasan, D. Popescu, "IIoT Decentralized System Monitoring for Smart Industry Applications," 2021 29th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED), 2021, pp. 1161-1166, doi: 10.1109/MED51440.2021.9480341.

Nota: Autorii subliniați fac parte din echipa UPB pentru proiectul CIDSACTEH

Mentionam ca cele 4 lucrari au fost sustinute intr-o sectiune speciala intitulata Intelligent Manufacturing Systems din programul 10th International Workshop “Interdisciplinary Approaches in Fractal Analysis”- IAFA 2021, tinut ca satelit al 23rd International Conference on Control Systems and Computer Science (CSCS 23) organizata de Facultatea de Automatica si Calculatoare. In finalul acestei sesiuni a avut loc prezentarea unui raport de sinteza asupra rezultatelor proiectului de cercetare CIDSACTEH.



Fig. 14 ICCCI - afișare in simulator

LOCURI DE MUNCA SUSTINUTE PRIN PROGRAM, INCLUSIV RESURSA UMANA NOU ANGAJATA

Echipa de proiect care a contribuit la cercetari in Etapa 4. Proiect 2, este formata din 11 (unsprezece) cercetatori (inclusi in lista de personal a proiectului 2). Dintre acestia fac parte doi tineri cercetatori (doctoranzi) angajați cu normă întreagă la partenerul UPB, pe poziția de Asistent de cercetare.

PREZENTAREA STRUCTURII OFERTEI DE SERVICII DE CERCETARE SI TEHNOLOGICE CU INDICAREA LINK-ULUI DIN PLATFORMA ERRIS SERVICII DE CERCETARE SI TEHNOLOGICE

Denumire - *Linie de fabricație flexibilă de precizie si reversibila, deservita de SAC-ARP (Sistem autonom complex - Asistent Robotic Personal) si SAC-VAM (Sistem autonom complex- Vehicol Autonom Mobil)*

Descriere – Testarea si validarea performantei unei platforme robotice mobile care emuleaza functiile unui Sistem autonom complex - Asistent Robotic Personal. Implementarea serviciului se bazează pe două produse noi: Proceduri de conducere a unui robot autonom mobil în mediu cu obstacole (vezi <http://cidsacteh.upb.ro/index.php/ro/demonstratii>) și Interfata de tip om-masina de comandă, control și colectare a informatiei pentru o linie flexibilă de asamblare a produselor (vezi <http://cidsacteh.upb.ro/index.php/ro/rezultate/20-imagini>). **Echipamente** – *SMART Flexible Assembly System, Producator: ASTI Automation SRL*. Link la platforma ERRIS: <https://erris.gov.ro/PRECIS-UPB> Research services: Pozitia **L9: Innovative Products and Processes to Increase Life Quality**, Equipments: Pozitia **SMART Flexible Assembly System**

PROIECT 3

Etapa 4. Obiective

Integrarea sistemelor autonome complexe SAC-ARP și SAC-VAM în tehnologii hibride de deservire linii de fabricație flexibilă de precizie, de laborator, de mecatronică, de P/R, Festo MPS200

Activitatea 4.3 Structura de conducere este conceputa pentru sistemul compus din: Celula flexibilă, CF, cu 6-DOF ABB RM IRB120– stație utilizată pentru asamblarea, demontarea și repararea pieselor astfel: cu tampon, manipulare, prelucrare și capacitate de transport. CF este o unitate de asamblare / dezasamblare controlată PLC Siemens S7-1200 PLC, care se ocupă de furnizarea de piese de lucru pentru produsul tip 1 de piesă de prelucrat și demontare, reparații pentru piesa de lucru tip 2; A / DML 6-WS Hera & Horstmann ML - bazată pe un sistem mecatronic de laborator, utilizat pentru asamblarea și transportul pieselor de lucru cu instalație de verificare și depozitare. A / D / RML, este caracterizată printr-o structură modulară. Structura hardware constă din 2 subsisteme / module controlate PLC cu sarcini specifice pentru toate etapele de fabricație. SAC ARP este robotul un sistem compus din PeopleBot WMR echipat cu un 7-DOF Cyton 1500 RM dotat cu sistemul VSS eye in hand, utilizat pentru recuperare și transport / returnare a piesei de lucru demontate/componentelor reprecuate (catre depozit).

Structura de conducere propusă este o arhitectură hibridă, distribuită și centralizată/descentralizată, cu două caracteristici principale:-Structură distribuită, prin intermediul PLC-urilor separate pentru fiecare dintre cele 2 subsisteme, pentru a automatiza zonele respective cu facilități de vizualizare sau operare; - Arhitectură centralizată / descentralizată, în care FC PLC (Siemens S7 1200), pe lângă rolul de control local, acționează ca PLC master pentru controlul central al ambelor subsisteme ale întregului proces A/D/RML, și facilităților de operare, coordonând astfel și sarcinile de control cu sincronizarea operațiunilor SAC. Sistemul este echipat cu o interfață hardware (HMI) KTP 700 ce asigură funcția de vizualizare a taskurilor în execuție și controlul operatorului. Complementar, au fost elaborate lucrări științifice pentru diseminarea rezultatelor finale.

1. Structura de conducere Structura de conducere este proiectata pentru linia de asamblare/dezasamblare/reprelucrare A/D/RML, care este prezentată în Figura 1. Componentele de bază ale liniei de asamblare/dezasamblare/reprelucrare sunt:-Celula flexibilă, CF, dotata manipulatorul cu 6-DOF ABB RM IRB120. Aceasta stație de prelucrare este utilizată pentru asamblarea, demontarea și repararea pieselor.- Linia mecatronica de asamblare/dezasamblare/reprelucrare A / DML 6-WS ML - bazata pe un sistem mecatronic de laborator, utilizat pentru asamblarea și transportul pieselor de lucru cu instalație de verificare și depozitare;- SAC PeopleBot WMR echipat cu un 7-DOF Cyton 1500 RM utilizat pentru recuperare și transport / returnare a piesei de lucru demontate. Linia A / D / RML, reprezintă un sistem caracterizat printr-o structură modulară. Structura hardware constă din 2 subsisteme / module controlate PLC cu sarcini specifice pentru toate etapele de fabricație. -CF este o unitate de asamblare / dezasamblare controlată PLC Siemens S7-1200 PLC, care se ocupă de furnizarea de piese de lucru pentru produsul tip 1 de piesă de prelucrat și demontare, reparații pentru piesa de lucru tip 2; Linia cu stații 6-WS Hera & Horstmann ML este, de asemenea, un subsistem controlat PLC (seria Siemens S7-300) care are un rol predefinit ca unitate logistică care assemblează piese de lucru individuale, transportă între module și stochează piesele prelucrate în locul de depozitare final. Structura hardware și software bazată pe PLC este o arhitectură hibridă, distribuită și centralizată/descentralizată, cu două caracteristici principale: Structură distribuită, prin intermediul PLC-urilor separate pentru fiecare dintre cele 2 subsisteme, pentru a automatiza zonele respective cu facilități de vizualizare sau operare; Arhitectură centralizată / descentralizată, în care CF PLC (Siemens S7 1200), pe lângă rolul de control local, acționează ca PLC master pentru controlul central al ambelor subsisteme ale întregului A/D/R ML, proces și facilități de operare, coordonând astfel și sarcinile de control ca sincronizare a operațiunilor SAC care include o interfață hardware (HMI) KTP 700 ce asigură monitorizarea procesului și vizualizarea stării curente a procesului precum și controlul operatorului.

Celula flexibilă (CF) cu ABB IRM:CF este o stație integrată dotată cu un robot ABB IRB120, prezentată în Figura 3, care constă din următoarele componente majore:manipulator cu 6 grade de libertate 6-DOF ABB IRB120 IRM cu priză

electrică; PLC Siemens S7-1200 series-CPU 1214C; HMI Siemens KTP700, Color Basic PN; Comutator Siemens SCALANCE XB005; Bandă transportoare cu servomotor Sinamics V90; Unități compacte de depozitare și descărcare corespunzătoare fiecărei piese de prelucrat formată din cinci părți care trebuie asamblată.

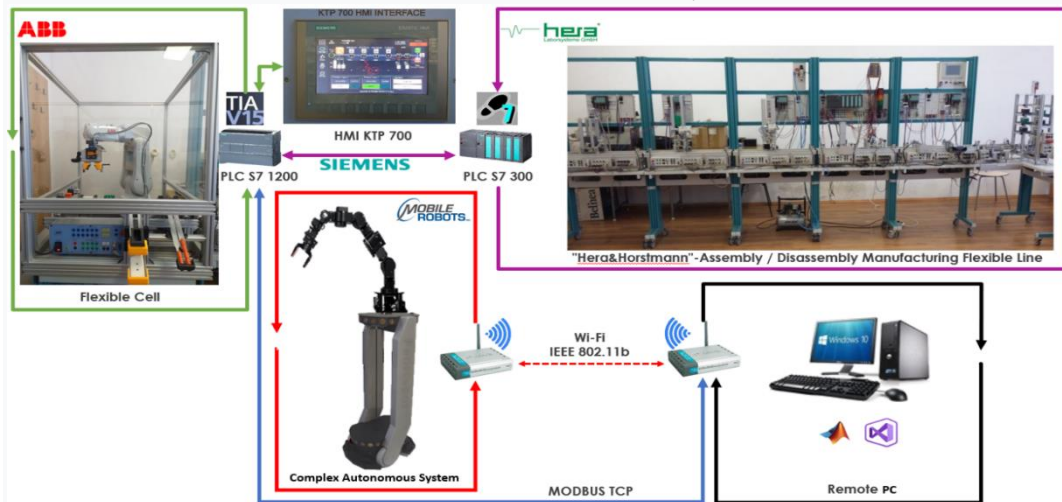


Figura 1. Structura de conducere SAC formată din linia de A/D/R, a celei de fabricație CF și SAC-ARP. Se utilizează legătura de comunicare Profinet, pentru a interconecta și controla toate dispozitivele CF menționate mai sus. Pentru structura hardware CF, sunt aplicabile următoarele profiluri Profinet:

- Profinet-IO, I/O distribuită (I/O la distanță), în care datele utilizatorului de pe dispozitivele de câmp sunt trimise periodic către modelul procesului sistemului de control. Acesta poate fi considerat un protocol Profibus evoluat pe straturile TCP. Profinet-IO este utilizat pentru a lega HMI, CPU PLC și controlerul robot ABB (Figura 2);
- Unitate PROFI - implementată pentru scenarii de aplicații de acționare, acoperă de la convertizoarele de frecvență simple la servo-drivere inteligente. Acest profil Profinet este utilizat în stația de celule flexibile pentru a controla banda transportoare cu servomotor Sinamics V90 (Figura 2).

ABB Robot Controller are capacitatea hardware de a comunica cu dispozitive terțe prin protocolul Profinet. Pentru aceasta, o placă dedicată AnybusCC Profinet slave (DSQC 688) este introdusă într-o placă de expansiune deasupra unității computerului principal din controlerul de robot ABB. Acest dispozitiv Profinet Anybus, DSQC 688, necesită controlerul robot DSQC1000 (computer principal). Cu opțiunea Profinet Anybus Device, controlerul ABB Robot poate acționa ca un modul *slave* în rețeaua Profinet.

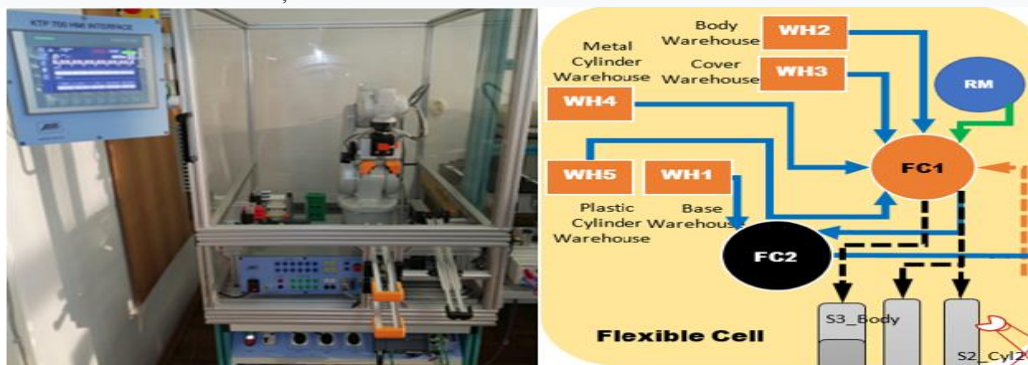


Figura 2. Stația celule flexibile cu 6-DOF ABB IRB120 IRM

Linia Mecatronică Hera & Horstmann Linia flexibilă mecatronică (Figura 3) include șase stații de lucru individuale cu sarcini diferite, fiecare sarcină asigură îndeplinirea operațiilor pentru diferite etape: transfer și transport, stații de lucru pneumatice, bandă transportoare, unitate de sortare, stație de testare și depozit.

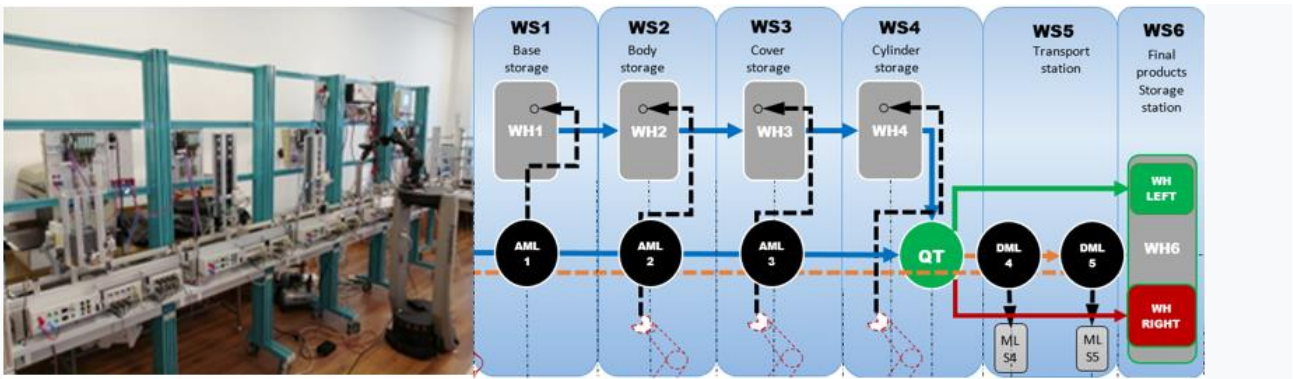


Figura 3. Linia mecatronica Hera&Horstmann si SAC, ARP-PeopleBot WMR cu manipulatorul Cyton 1500 RM
Structura hardware a SAC

SAC, prezentat în Figura 4, este alcătuit din următoarele elemente: un manipulator Cyton 1500 RM 7-DOF echipat cu un tip visual servoing VSS *eye in hand* folosind o cameră de înaltă definiție, ambele fiind conectate la un computer prin USB și sincron comunicarea cu A/ D/R ML prin Wi-Fi. RM este plasat pe SAC ARP Peoplebot, care este un WMR cu două roți motoare și o roată liberă (2DW / 1FW). SAC ARP este utilizat pentru transportul pieselor recuperabile preluate de Cyton 1500 RM la depozitele corespunzătoare dacă piesa asamblată nu a trecut testul de calitate și a fost demontată sau reparată.

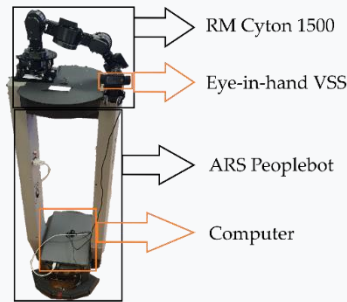


Figure 4. SAC compus din ARP, manipulator mobil (RM), *eye-in-hand* VSS și calculator

Controlul CAS se efectuează fără fir folosind un router care este plasat în interiorul WMR, prin funcții dedicate de la ARIA (Advanced Robotic Interface for Applications) care rulează pe același computer la care este conectat Cyton RM. **Visual servoing VSS *eye in hand*.** VSS *eye-in-hand* este un sistem în care senzorul video este plasat pe ultima verigă a RM, cunoscut și sub numele de efector final. Pentru acest tip de VSS, informațiile despre imagini 2D sunt utilizate pentru a controla mișcarea robotului în spațiul de lucru. Urmărirea obiectelor și poziționarea roboților sunt realizate folosind comparația dintre caracteristicile vizuale actuale, extrase din imaginile capturate de cameră și caracteristicile vizuale dorite. Diferența obținută este utilizată pentru a minimiza eroarea dintre poziția curentă a piesei și locația anticipată. De asemenea, VSS tip *eye-in-hand* indică faptul că mișcarea RM induce, de asemenea, mișcarea camerei montate. Una dintre cele mai utilizate componente în detectarea și clasificarea obiectelor se numește moment de imagine. Aceste momente de imagine sunt utilizate în mod obișnuit în domeniile roboticii datorită eficienței și simplității lor în implementare. Momentele imaginii conțin informații despre regiunea de interes, coordonatele centrului de greutate al piesei și poziționarea imaginii.

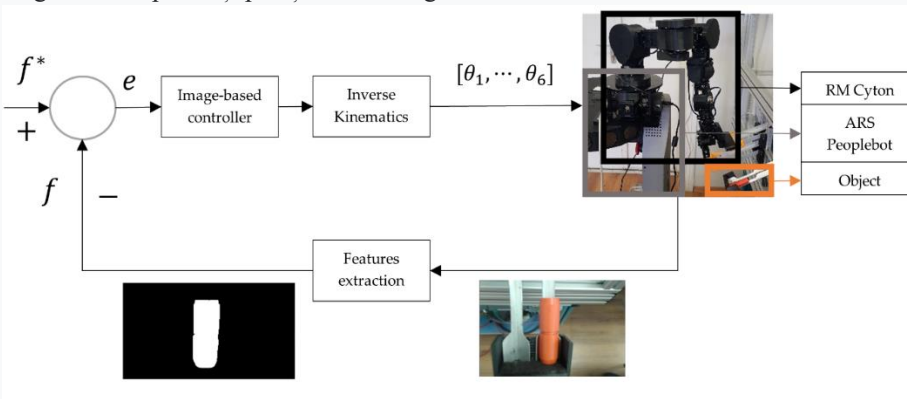


Figura 5. Bucla de reglare a poziției manipulatorului robotic (RM) Cyton bazată pe VSS *eye-in-hand*

Arhitectura de control SAC

Partea mobilă a A / D / R ML, denumită SAC, constă dintr-un sistem robotizat autonom (ARP), Peoplebot WMR echipat cu 7-DOF Cyton 1500 RM și un sistem VSS de tip eye in hand , pentru ridicarea pieselor de la CF în în cazul unui proces de reparație / demontare și transportarea acestora la depozitele corespunzătoare de depozitare (figurile 4, 5 și 6). Controlul piesei mobile se bazează pe 3 bucle de control:

1. Buclă de control pentru sincronizarea între PLC Modbus al CF și Cyton RM;
2. Buclă de control a Cyton RM cu VSS ochi-în-mână pentru o poziționare precisă pentru a ridica obiectele de la FC și a le așeza în depozite;
3. Buclă de conducere a PeopleBot WMR bazată pe *sliding mode* control pentru urmărirea traiectoriei în timp stabilit cu evitarea obstacolelor (Trajectory Tracking Sliding Mode Control (TTSMC)).

Toate cele trei bucle de control comunică printr-un computer care conține GUI și comenzile ARP, VSS de tip eye in hand, Cyton 1500 RM și gestionează sincronizarea cu CF. Pachete de programare și biblioteci specifice au fost utilizate cu Microsoft Visual Studio pentru a conduce întregul sistem. Așa cum se poate vedea în Figura 12, comunicația dintre Cyton RM, VSS de tip eye in hand și computer se face cu conexiuni USB, în timp ce comunicarea cu și CF se realizează fără fir folosind un protocol TCP / IP. Coordonarea dintre buclele de control a fost realizată utilizând biblioteca open-source specializată în procesarea imaginilor, OpenCV și intrarea de comanda definită, funcții de la Aria Mobile Robots, o sincronizare cu PLC-ul Modbus al FC , toate combinate în Microsoft Visual Studio cu limbajul de programare C ++.

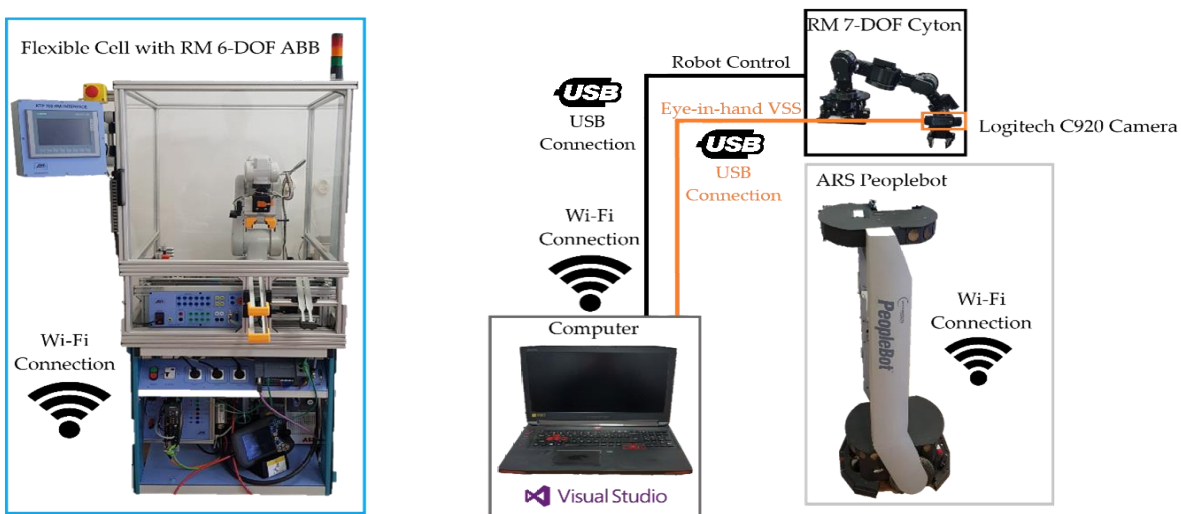


Figura 6. Structura blocurilor de comunicație între CF ARP PeopleBot echipat cu manipulatorul Cyton RM și VSS *eye-in-hand*

Toate cele trei bucle de control comunică printr-un computer care conține GUI și comenzile ARP, VSS de tip eye in hand, Cyton 1500 RM și gestionează sincronizarea cu CF. Pachete de programare și biblioteci specifice au fost utilizate cu Microsoft Visual Studio pentru a conduce întregul sistem. Așa cum se poate vedea în Figura 6, comunicația dintre Cyton RM, VSS de tip eye in hand și computer se face cu conexiuni USB, în timp ce comunicarea cu și CF se realizează fără fir folosind un protocol TCP / IP. Coordonarea dintre buclele de control a fost realizată utilizând biblioteca open-source specializată în procesarea imaginilor, OpenCV și intrarea de comanda definită, funcții de la Aria Mobile Robots, o sincronizare cu PLC-ul Modbus al FC , toate combinate în Microsoft Visual Studio cu limbajul de programare C ++. Figura 7 ilustrează traiectoriile dorite și reale ale ARP PeopleBot obținute cu comanda dată de TTSMC în buclă închisă pentru a trece de la CF la depozit și înapoi la CF în timpul dorit. În (a) este prezentat traseul complet, în (b) separat pe axa X, (c) separat axa Y, (d) traiectoria unghiulară astfel încât diferențele dintre traiectoria reală și cea dorită să poată fi percepute mai ușor. Există 2 abateri observabile, una după ce se face o rotație de 90 ° pentru a avansa la depozit, așa cum se arată în Figura 7 (c) și 7 (d) între secundele 40 și 56 pe axa X, iar a doua din nou după o rotație de 90 ° pentru a vă deplasa înapoi la FC, prezentat în Figurile 7 (c) și 7 (d) între secundele 78 și 90 pe axa X.

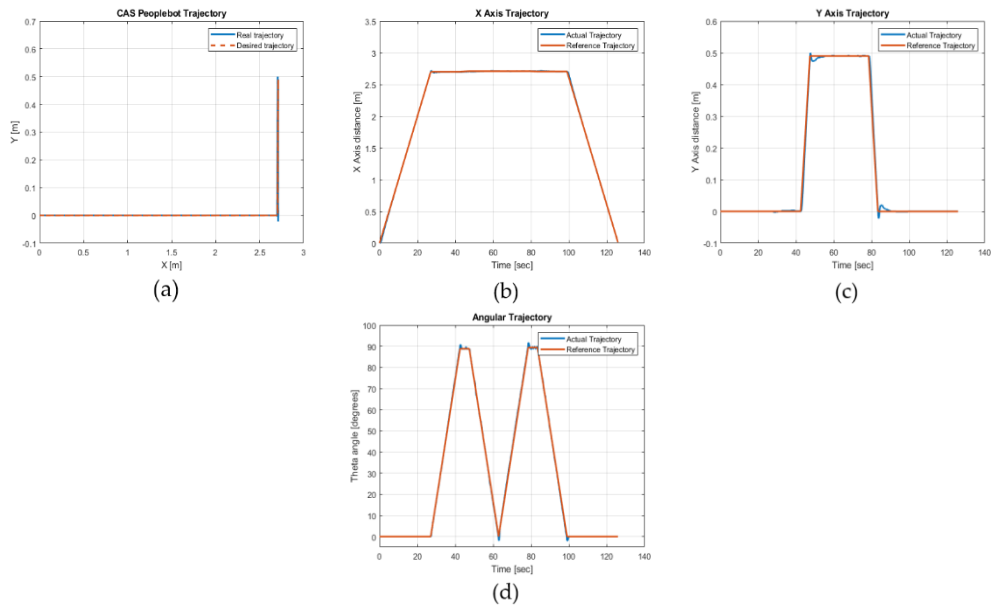


Figura 7. Traiectoriile dorite si reale ale ARP Peoplebot bazate pe comanda Trajectory Tracking Sliding Mode Control: (a) Traiectoria completa, (b) Traiectoria pe axa X, (c) Traiectoria pe axa Y si (d) traiectoriile unghiulare

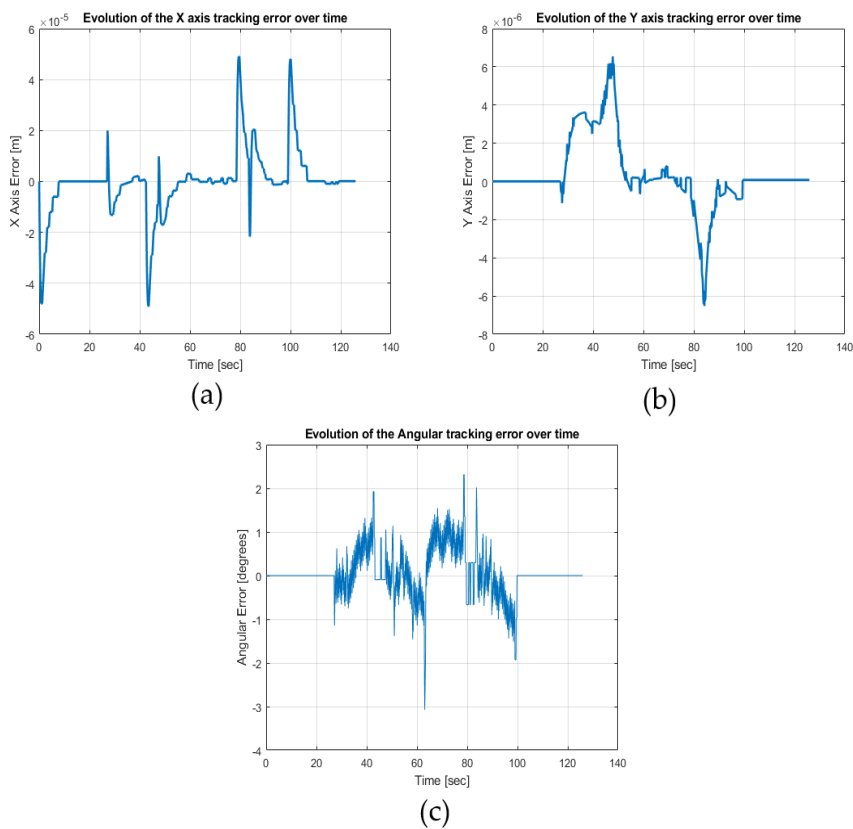


Figura 8. Erorile de urmărire în coordonate absolute (a) pe axa X și pe (b) axa Y axis, (c) eroarea unghiulară absolută exprimată în radiani pe secundă pentru robotul ARP PeopleBot

Structura de conducere propusă și validată în această etapă, este ușor de implementat, nu necesită echipamente suplimentare celor uzuale în sistemele de fabricație și asigură sistemului de asamblare sau fabricație îndeplinirea performanțelor impuse. SAC ARP este echipat cu algoritmi performanți de urmărire a traiectoriei în timp stabilit și cu evitarea obstacolelor. Utilizarea VSS eye in hand pentru poziționarea manipulatorului mobil RM Cyton, ce echipează SAC ARP, duce la micșorarea considerabilă a erorilor de poziționare a pieselor, în condiții apriori necunoscute. Soluția de SAC ARP propusă, având cele două avantaje majore demonstrate, este o tehnologie emergentă ce poate fi utilizată în mediul industrial cu foarte mici ajustări

2. Structura de servicii de cercetare

Structura de servicii de cercetare propusă, privind SAC-ARP integrat în tehnologia hibridă de deservire a liniilor de fabricație flexibilă de precizie, de laborator, de mecatronică, de P/R, A/D este disponibilă la adresa <https://eeris.eu/?&sm=module.org.erris.app.infra&ddpN=3245192760&we=a5ba74f6d75889ea8c62a266f3e019f6&wf=dGFCall&wtok=598efa9b52e5b548b3eb15710f55b335b924c1fc&wtkps=JY3bEkMwFEX/Je+MOLk5vibE0aiiSTCj038v+rYe1I7bosBPREAwwWN1RFki45vapDRHguFoXPRvM1bE1y2mKaV5aMkfjyLjuhJ9K7N+hWE M11Yj8xMF+y8JZIJzfUeR7ek5xovhPCBeEgAYB7qRZItWQWm0IVK2LBoSI3dqe3eDQvaa3Tp2+Rz6vAvBx9wuS35/sfr7Aw==&wchk=4252aaa4ab28b8b1fdb3db7fd9588b0e3f8b9349>.

Structura de servicii oferită este compusă din 2 servicii de cercetare: Research for the Autonomous Complex System - Personal Robotic Assistant platform to ensure the medical and social assistance in the hospital and at home. Research for the Autonomous Complex System- Multidirectional Autonomous Vehicle platform for personal assistance in/out the hospital and rescue in rough terrain și două tehnologii oferite: Hybrid flexible manufacturing systems control technologies for precision flexible assembly/manufacturing lines for laboratory or industrial use, integrating the Autonomous Complex System -Multidirectional Autonomous Vehicle. Hybrid flexible manufacturing systems control technologies for precision flexible assembly/manufacturing lines for laboratory or industrial use, Hybrid flexible manufacturing systems control technologies for precision flexible assembly/manufacturing lines for laboratory or industrial use, integrating the Autonomous Complex System - Personal Robotic Assistant.

PROIECT 4

Modelarea, simularea și conducerea în timp real a liniilor de fabricație asistate de sisteme autonome complexe (SAC-ARP, SAC-VAM) integrate în tehnologii hibride de fabricație flexibilă de precizie, de laborator (linii de mecatronică) și industriale, pentru produse reutilizabile.

Etapa 4. Proiect 4 . *Testare în laborator a conducerii în timp real a liniilor de fabricație flexibilă de precizie LA/D, asistate în procesul reversibil de dezasamblare de SAC integrate în tehnologii de asistare, SAC-VAM, roboți mobili (2DW/1FW) echipat cu Manipulator 6-DOF Arm;*

REZUMATUL ETAPEI. Cercetările se înscriu în cerințele Activității 4.4 din planul de realizare al proiectului și s-au derulat pe următoarele direcții științifice: a) Testarea în laborator a conducerii în timp real a sistemului integrat pentru fabricație flexibilă deservit de manipuloare industriale colaborative; b) Testarea în laborator a unei tehnologii generalizate de adaptare a unei linii de asamblare/dezasamblare cu control în flux al fabricației, în linie de asamblare/dezasamblare pentru fabricației flexibile; c) Testare în laborator a conducerii în timp real a liniei de fabricație flexibilă de precizie LA/D, asistată în procesul reversibil de dezasamblare de SAC și manipuloare cu taskuri colaborative, integrate în tehnologii de asistare. În cadrul exercițiilor de testare, s-au considerat scenarii de execuție a fabricatei în flux și a celei flexibile deservite de manipuloare. S-au testat scenarii de dezasamblare în situații generate de rezultatul procesului de testare a calității. Dezasamblarea în celula este declanșată pentru piesele multistrat generate prin asamblare flexibilă. În acest caz, s-a implementat și testat dezasamblarea în celula flexibilă, cu recuperarea componentelor în magazii prin acțiunea colaborativă a celor două manipuloare industriale, FANUC și ABB. Exercițiile de testare a conducerii liniei fabricație flexibilă de precizie deservită de roboții mobili, a luat în considerare, pe lângă scenariile de recuperare sistematică a componentelor în magazii, și pe acelea în care magazinele ajung la situația limită a „rupturilor de stoc”. Astfel, s-a implementat o tehnologie de deservire colaborativă a liniei de fabricație flexibilă de precizie LA/D dar și a procesului de alimentare cu componente a magaziiilor. În cadrul Etapei 4, se propune o tehnologie generalizată de adaptare a unei linii de asamblare/dezasamblare cu control în flux al fabricației, în linie de asamblare/dezasamblare pentru fabricației flexibile. Comutarea modului de lucru al liniei este determinat de structura sarcinii de producție, respectiv de tipologia comenzii de fabricație.

Activitatea 4.4 Testare în laborator a conducerii în timp real a liniilor de fabricație flexibilă de precizie LA/D, asistate în procesul reversibil de dezasamblare de SAC integrate în tehnologii de asistare, SAC-VAM, roboți mobili (2DW/1FW) echipat cu Manipulator 6-DOF Arm

4.4.1. Testarea în laborator a conducerii în timp real a sistemului integrat pentru fabricație flexibilă deservit de manipuloare industriale colaborative. 4.4.1.1. Proces de dezasamblare deservit de manipuloare cu taskuri colaborative în cadrul sistemului integrat pentru fabricație flexibilă (SIFF)

SIFF este un sistem flexibil de producție obținut prin dezvoltarea liniei mecatronice SMART ASTI cu un nou post de producție, un post de dezasamblare, un sistem robotic SCARA și roboți mobili. Astfel a fost obținut un sistem de 7 stații interconectate cu două procese de producție paralele, în stație sau în flux. Stațiile sunt controlate individual cu automate programabile Siemens S7-1200. Utilizarea roboților în procesele de asamblare și dezasamblare efectuate pe SIFF are implicații în planificarea execuției și conducerii fluxurilor de fabricație. Prezența roboților permite modificarea tipului și numărului de produse realizate. Operatorul nu poate selecta fluxul de fabricație urmat de produs; această decizie este luată de algoritmul de optimizare implementat pe linia de producție. Acest algoritm alege fluxul care are cel mai avantajos timp de execuție. Datorită complexității sarcinilor de deservire efectuate de roboți, aceștia au fost echipați cu diferite

sisteme de prindere astfel încât toate semifabricatele componente ale produsului simplu și ale produsului multistrat să poată fi asamblate și dezamblate în celula de fabricație flexibilă (CFF). În abordarea dezamblării produsului simplu, robotul ABB, schimbând orientarea end-efectorului în spațiu pentru a prinde și a plasa piesele sub egida unor restricții bine definite.

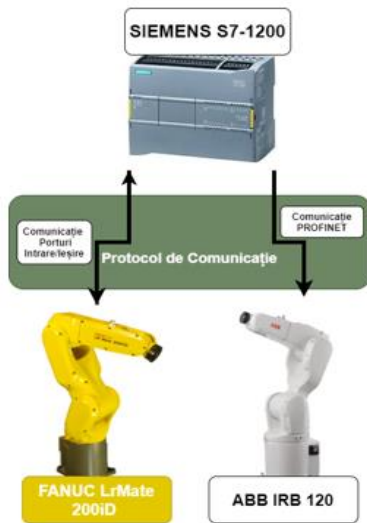


Figura 1. Arhitectura procesului de comunicație hibridă

Procesele de producție ale stației de lucru 3 și stației de lucru 4 sunt supravegheate de un PLC Siemens S7-1200. Acest PLC comunică constant cu roboții, controlând fiecare etapă a procesului de asamblare și dezamblare. Comunicația dintre robotul ABB și PLC se realizează cu standardul Profinet. Caracteristicile acestui standard permit schimbul de date foarte rapid între controlerul robotului și PLC. Comunicarea robotului Fanuc cu PLC se face prin intrări și ieșiri. Problema evidentă este că trebuie creat un standard de comunicație hibrid. Acest standard trebuie să permită comunicația permanentă între PLC și cei doi roboți (Figura 1).



Figura 2. a) SIFF echipat cu sisteme robotice; b) robot ABB robot (stânga), robot FANUC și SCARA (dreapta)

Etapa inițială a programării PLC implică dezvoltarea unui set de reguli care trebuie respectate de controlerul roboților pentru a efectua în siguranță toate mișcările necesare. Astfel, pentru siguranță, au fost impuse următoarele reguli: a) fiecare mișcare a roboților trebuie să înceapă numai după ce a fost primit un semnal pentru a începe procesul (Figura 2); b) după efectuarea mișcării, robotul trebuie să transmită un semnal de încărcare finalizată sau eroare de executare a sarcinii; c) dacă apar coliziuni, roboții trimit un semnal de urgență de coliziune, acest semnal încetează procesul de producție și avertizează operatorul.

Astfel, prin implementarea acestui set de reguli, poate fi creat un control software dedicat acestei sarcini. Programul este implementat în PLC și descrie în detaliu etapele procesului de dezamblare secundar. Cea mai importantă caracteristică a acestui program este monitorizarea constantă a numărului de semnale primite de la cei doi roboți în două contoare separate (Figura 2). Implementarea taskurilor **colaborative în cadrul SIFF**. În cazul deservirii colaborative traiectoria roboților trebuie să îndeplinească două condiții: deoarece cei doi roboți se află în aceeași încălț, se vor defini zone de siguranță asociate fiecărui robot astfel încât posibilitatea de apariție a coliziunilor să fie minimă și traiectoriile de prindere și plasare să respecte condiția timpului minim. taskurile colaborative implementate în procesul de dezamblare secundar presupune separarea pieselor mici prin intermediul acțiunii end-efectorului pneumatic al robotului ABB, poziționarea piesei mici în zona de plasare, prinderea piesei mici cu ajutorul robotului Fanuc și plasarea piesei pe suprafața depozitului (Figura 3).

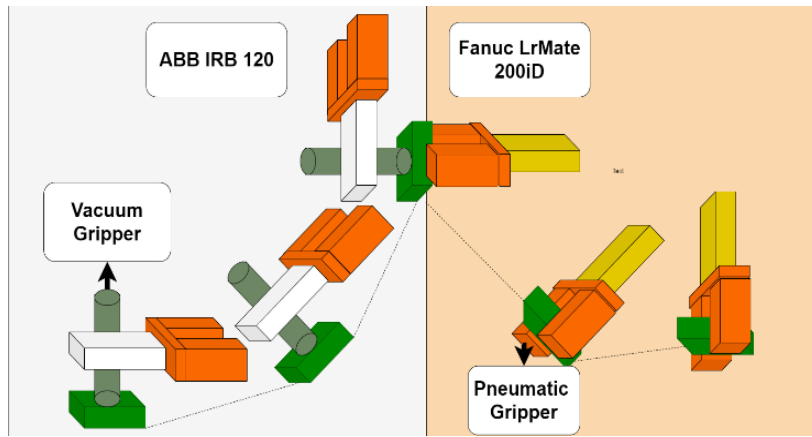


Figura 3. Reprezentarea vectorială a procedurii de execuție a operațiilor de manipulare a pieselor de prelucrat în cadrul procesului de dezasamblare colaborativă

4.4.1.2. Testarea procesului de dezasamblare deservit de manipuloare cu taskuri colaborative în cadrul sistemului integrat pentru fabricație flexibilă (SIFF)

Studiul experimental se concentrează pe realizarea unor traiectorii pentru implementarea procesului de dezasamblare secundară în CFF. Toate traiectoriile implementate trebuie adaptate la sistemul fizic pentru obținerea unui raport maxim de performanță, respectiv durate minime.

a. Testarea procesului de manipulare pentru poziționare în cadrul dezasamblării colaborative

Prima etapă a procesului de dezasamblare secundară este prinderea produsului, aflat pe platforma de transport și plasarea acestuia în zona de dezasamblare. Traectoria descrisă de punctele alese descrie mișcări ale robotului ABB realizate în totalitate în zona de lucru alocată acestui robot (Figura 4).

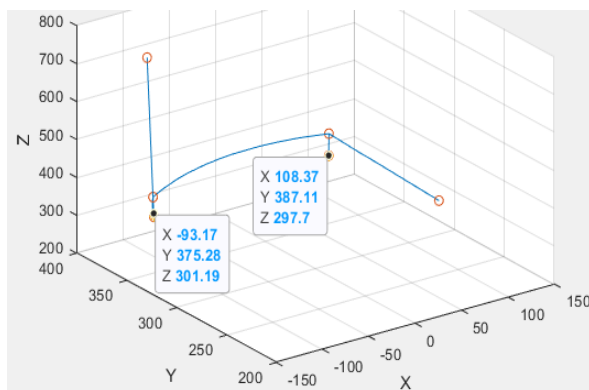


Figura 4

Traectoria de transport/manipulare al produsului și plasarea acestuia în zona de dezasamblare

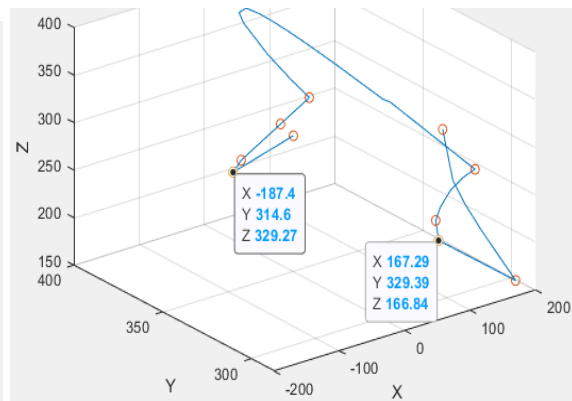


Figura 5

Traectoria de manipulare/poziționare/depunere în magazii a componentei PALET

b. Testarea procesului de transport și manipulare în raport cu depozitul din CFF

Operația de prindere și plasare a platformei de transport este operația ce trebuie în mod firesc executată pentru eliberarea zonei de primire/stocare a produselor. Această operație poate fi considerată o operație critică deoarece dacă apare situația în care pe linia de fabricație apar mai multe produse defecte, produsele trebuie aduse către procesul de dezasamblare.

c. Dezasamblarea piesei superioare de pe produs

Dezasamblarea piesei superioare a produsului simplu implică poziționarea end-efectorului aflat în starea deschisă deasupra zonei în care se află piesa, prinderea, ridicarea și plasarea piesei în depozitul dedicat din CFF. Traectoria acestei operații este reprezentată în graficul din figura de mai jos.

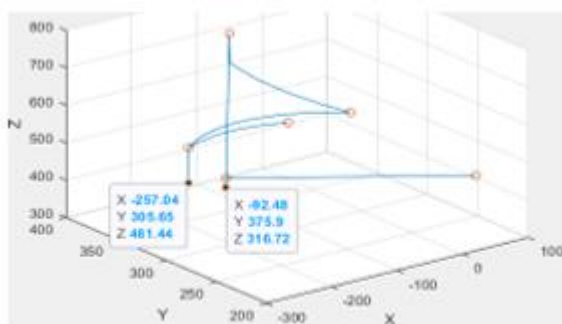


Figura 7. Traectoria de manipulare/depozitare a componentei TOP

d. Dezasamblarea pieselor mici prin operații repetitive colaborative

Dezasamblarea pieselor mici este cea mai complexă operație din întregul proces de dezasamblare a produsului simplu. Pentru execuția cu succes a acestei operații au fost implementate următoarele: o sarcină colaborativă și schimbarea orientării robotului ABB în funcție de poziția piesei mici în cadrul produsului.

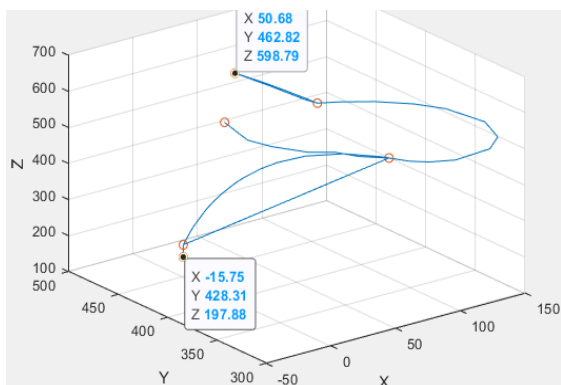


Figura 8. Rezultate ale testarii.
Traiectoria de transport/depozitare a componentelor mici cu orientare la 0°

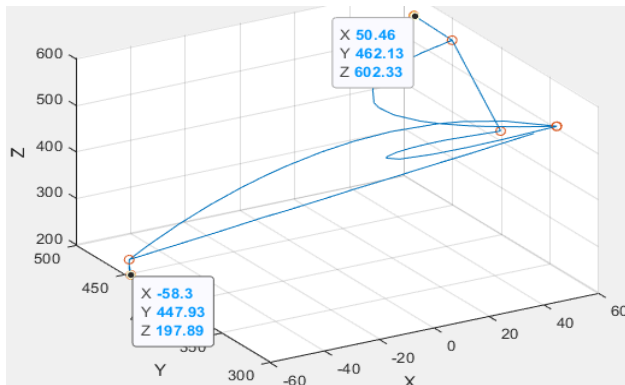


Figura 9. Rezultate ale testarii.
Traiectoria de manipulare/depozitare mici cu orientare la 90°

Astfel, datorită caracteristicilor spațiului de lucru, au fost realizate două traiectorii de transport ale pieselor mici de la produs la poziția de transfer: traiectoria dedicată pieselor mici poziționate la un unghi de 0° față de poziția de referință și o traiectorie dedicată pieselor mici poziționate la un unghi de 90° față de poziția de referință (Figura 8). Decizia de utilizare a unei traiectorii de ridicare este luată de controlerul robot ABB, care, pe baza configurației produsului, primită de la PLC, alege traiectoria, printr-o instrucțiune condițională.

Din poziția de trecere, piesa este preluată de robotul Fanuc și este plasată pe suprafața depozitului. Traiectoria urmată de punctul central al end-efectorului (TCP) al robotului Fanuc este descrisă în Figura 9. Traiectoria surprinde prinderea, plasarea și revenirea robotului în poziția inițială.

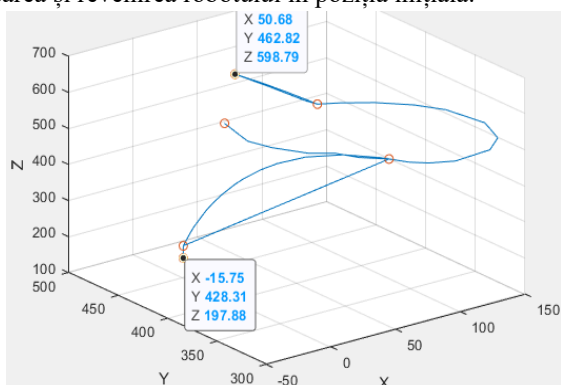


Figura 10. Rezultate ale testarii.
Traiectoria de manipulare/depozitare a componentelor mici efectuată de robotul Fanuc

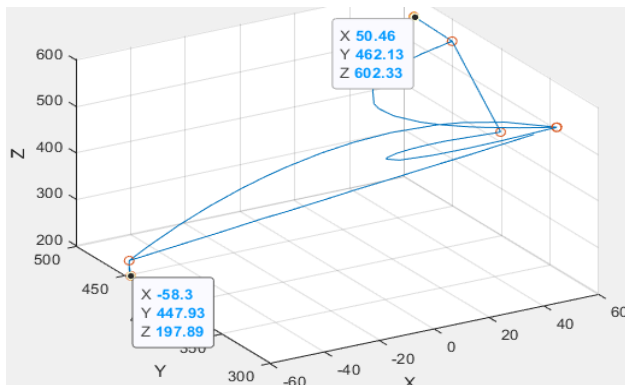


Figura 11. Rezultate ale testarii.
Traiectoria de prindere și plasare a componentei CORP

e. Dezasamblarea componentei de baza - CORP

Etapa finală a procesului de dezasamblare secundară a produsului simplu este prinderea piesei de bază și plasarea acesteia în depozit. Traiectoria urmată de TCP, în acest caz, este restrictivă datorită limitelor de toleranță impuse de arhitectura depozitului dar și de poziția robotului ABB în cadrul CFF.

f. Analiza timpului de execuție a traiectoriilor

Procesul secundar de dezasamblare trece prin șapte sarcini de lucru în ordine secvențială (Tabelul 1). Prin urmare poate fi realizată o discuție despre sarcina 3 și sarcina 4, aceste sarcini având caracteristica excluderi reciproce, mai exact dacă sarcina 3 este efectuată, atunci sarcina 4 nu poate fi efectuată. Același raționament poate fi aplicat și viceversa dacă sarcina 4 este efectuată atunci nu se poate efectua sarcina 3. Analiza efectuată asupra procesului propus arată că timpul de execuție a acestuia este maximum 6 minute și 54 de secunde, iar sarcina de colaborare poate fi executată într-un minut și 45 de secunde dacă robotul ABB decide să execute sarcina 4 sau dacă robotul ABB decide să execute sarcina 5 timpul este de un minut și 54 de secunde. În Figura 12 sarcinile de dezasamblare a componentelor mici poziționate la 0° sunt reprezentate de linii solide, iar sarcinile de dezasamblare a componentelor mici poziționate la 90° sunt reprezentate de două linii paralele.

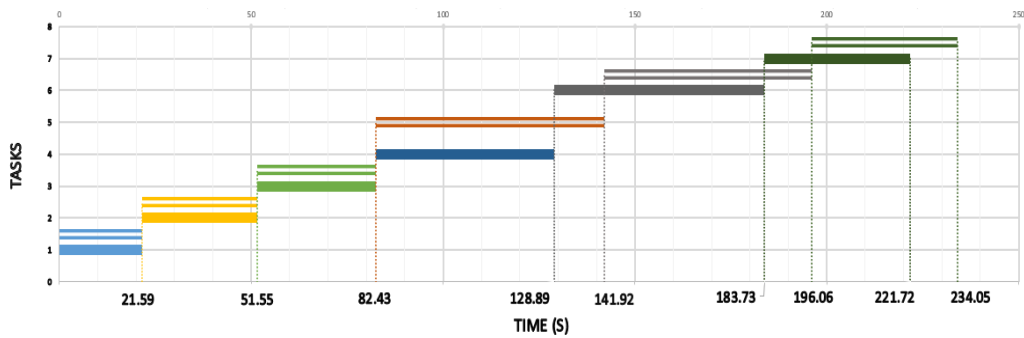


Figura 4. Diagrama Gantt a sarcinilor procesului secundar de dezasamblare: **Sarcina 1** – Mutarea produsului; **Sarcina 2** – Manipulare/plasare PALET în depozit; **Sarcina 3** - Dezasamblarea componentei TOP; **Sarcina 4** – Prinderea unei piese mici poziționată la 0° față de poziția de referință; **Sarcina 5**- Prinderea unei piese mici poziționată la 90° față de poziția de referință; **Sarcina 6** – Manipulare/plasare componente mici cu Robotul Fanuc in magazia orizontala; **Sarcina 7**- Manipulare/plasarea in magazie componentei CORP.

4.4.2. Testarea in laborator a unei tehnologii generalizate de adaptare a unei linii de asamblare/dezasamblare cu control in flux al fabricației, in linie de asamblare/dezasamblare pentru fabricației flexibile

În testarea tehnologiilor de adaptare a fabricației în flux la fabricație flexibilă sistemul Smart ASTI a fost dezvoltat într-un SIFF. Acest lucru a fost ușurat de modularitatea sistemului Smart ASTI. Astfel au fost adăugate o nouă stație și un sistem de transport echipat cu un robot SCARA.

4.4.2.1. Procesul de producție pe sistemul de asamblare/dezasamblare

În cadrul sistemului inițial de asamblare/dezasamblare putea fi produs un singur tip de produse cu posibilitatea limitată de personalizare a produsului. Pentru acest lucru se utiliza un număr de 6 stații de lucru, 5 pentru asamblare și una pentru dezasamblare (Fig. 13) controlate individual.



Figura 13
Stație de dezasamblare

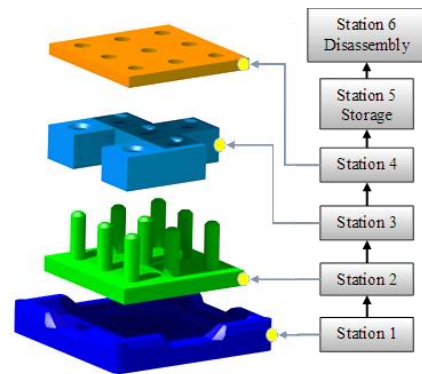
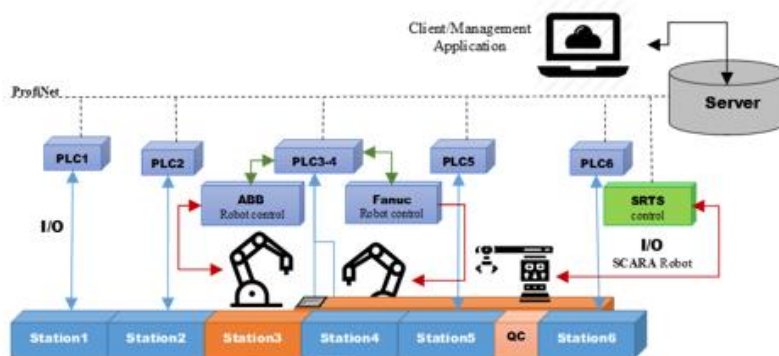


Figura 14
Taskuri succesive pentru asamblarea piesei cu un singur strat intern

Poziționarea în linie a primelor patru stații are ca rezultat o ordine de asamblare secvențială a produsului (Fig.14) și după procesul de asamblare produsul este testat în zona de testare a calității al stației de lucru 5 unde se decide dacă produsul va fi stocat sau demontat și piese recuperate și revin la producție.



Produsul asamblat este compus dintr-o tavă, o structură de bază, un strat interior de piese și o parte superioară. Configurațiile pentru piesele de strat intern, pe baza specificațiilor clientului, sunt introduse de un operator la începutul producției printr-o interfață HMI, necesitând un operator să înceapă ciclul de producție.

Figura 15. Sistem integrat pentru fabricație flexibile

Pe baza structurii produsului cu un singur strat intern, pot fi realizate noi configurații de produse prin adăugarea unui număr redus de stații de lucru modulare și sisteme de transport.

4.4.2.2. Diversificarea produselor

Pentru a diversifica produsele disponibile pentru asamblare, o nouă componentă este introdusă în producție. Piesa este

poziționată în stratul intern al produsului. Prin introducerea noii piese există cinci modele de produse care pot fi asamblate din toate piesele disponibile (Fig. 4). Pentru fabricarea noilor produse se introduce o nouă stație dotată cu un braț robotic și un sistem de transport SCARA. Prin utilizarea tuturor componentelor se obține: un produs hibrid (Fig.4.a) (folosind piese interne deja existente și nou introduse), produs cu un singur strat (Fig.4.b) (produs inițial pe linia de producție) și trei modele de produse cu mai multe straturi (Fig.4.c-e) (obținute adăugând un alt strat superior). Toate aceste modele de produse pot fi asamblate pe sistemul de fabricație flexibil prin o serie de sarcini. Având în vedere configurația produsului, unele pot trece de mai multe ori printr-o stație, minimizând nevoia de noi stații.

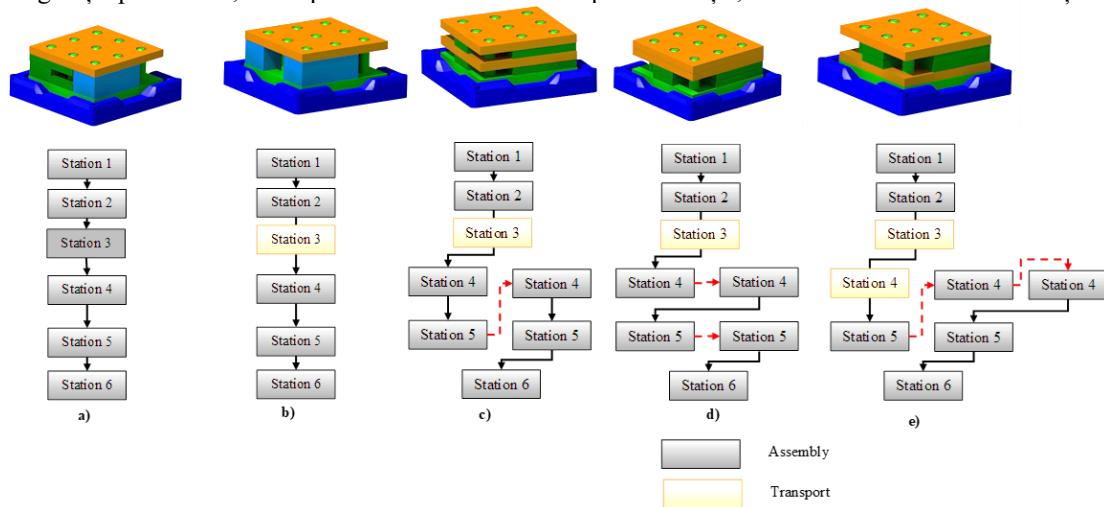


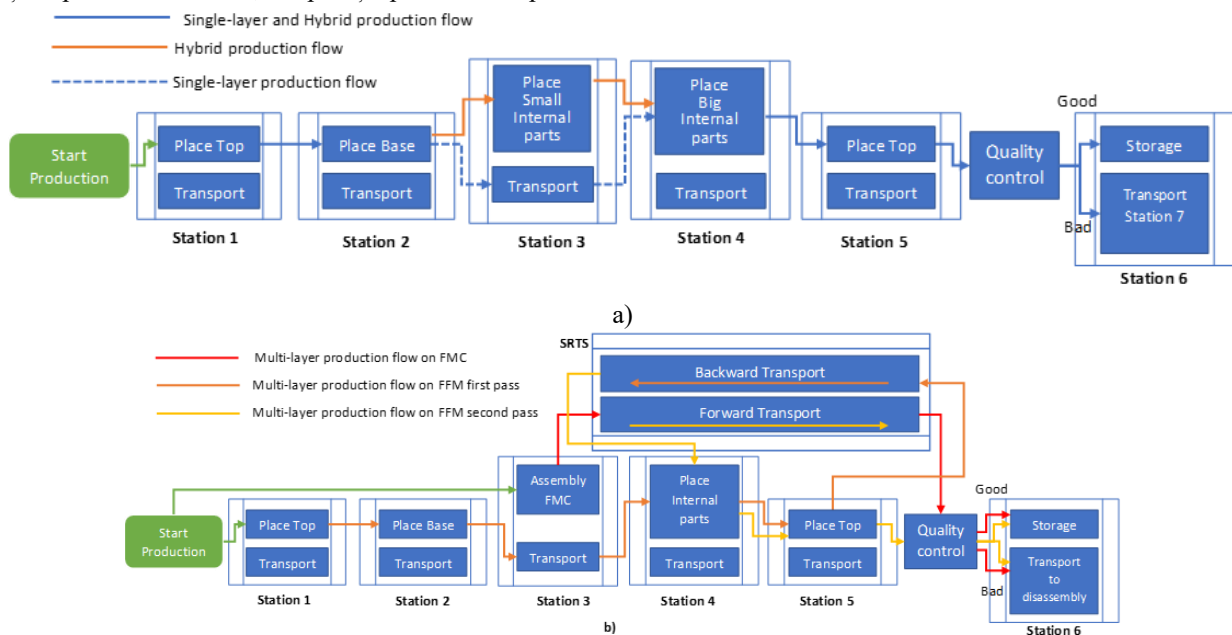
Figura 16. Diversificarea produselor: a) Produs hibrid, b) Produs cu un singur strat intern, c)-e) Produse cu mai multe straturi interne.

4.4.2.3. Sistem flexibil de fabricație

Pentru a reprezenta mai bine capacitatea de flexibilitate într-un cadru de laborator pe sistemul liniar de asamblare/dezasamblare au fost introduse două elemente noi: o stație de lucru cu dublă utilitate și un sistem de transport SCARA (Fig.16). Stația de lucru introdusă, Stația 3 (Fig.16), este echipată cu propriile depozite pentru a putea asambla sau dezambla complet o piesă într-un proces de fabricație flexibilă în celulă (FFC). Sistemul robotic de transport SCARA (SRTS) are scopul de a transporta piese asamblate de la FFC la testul de calitate în cadrul SIFF sau de a transporta produse parțial asamblate de pe LFF la stațiile de lucru anterioare pentru operațiuni noi, minimizând numărul de stații necesare pentru asamblarea unui produs. Configurația fiecărui produs va fi primită automat de la client printr-un server local care interfață sistemul de fabricație cu o aplicație client sau de management.

4.4.2.4. Procesul de producție în cadrul SIFF a. Procesul de producție pentru piesa cu un singur strat și piesa hibrid

În cazul producției de produse cu un singur strat și hibrid pe LFF, procesul de producție este similar, singura diferență între cele două procese de producție este la Stația 3, unde produsul cu un singur strat se deplasează la stația următoare, iar produsul hibrid se oprește pentru o operație de asamblare. Stratul intern pentru ambele produse poate fi plasat atât în stația 3, cât și în 4, acestea având capacități similare, dar a fost considerat ca stația 3 să asamblează piese interne mici și stația 4 piese interne mari, o repartizare posibil mai optimă făcând obiectul unor cercetări viitoare .



b)

Figura 17. Diagramele procesului de producție pentru: a) Piesa cu un singur strat și hibridă și b) Piesa multistrat

Pentru simularea preliminară a producției pe LFF a fost posibilă crearea unui singur model de rețele Petri pentru reprezentarea fabricării tuturor produselor. Simularea producției pentru produsul cu un singur strat este prezentată în Fig. 18b, iar modelul Petri pentru LFF prezentat este reprezentat în Fig. 18a. Pe modelul Petri sunt reprezentate și semnalele pe care linia de fabricație le primește pentru fabricarea unui produs. Pentru fabricarea produselor cu un singur strat intern și hibrid sunt prezente două semnale care coordonează procesul de asamblare în stația 3. Dacă se recepționează semnalul pentru piesa un singur strat, produsul va trece prin stația 3, dacă se recepționează semnalul hibrid produsul va avea o operațiune de asamblare în stația 3.

b. Procesul de producție pentru piesa multi-strat

Pentru fabricarea produselor multi-strat, SRTS are rolul de a transporta produsul parțial asamblat la o stație anterioară pentru un nou set de operațiuni de asamblare. Acest lucru garantează utilizarea unui număr minim de stații prin eliminarea stațiilor cu aceleași acțiuni de asamblare. Procesul de fabricație pentru un produs cu mai multe straturi (Fig. 15.c-e) este reprezentat în Fig. 17b. În diagrama fluxului de producție se poate observa că produsul are traiectorii diferite pentru prima și a doua trecere. Cele două traiectorii se suprapun între zonele de extracție și poziționare din fluxul de producție de către SRTS, fiind reprezentate de stațiile în care produsul are nevoie de un nou set de operațiuni de asamblare.

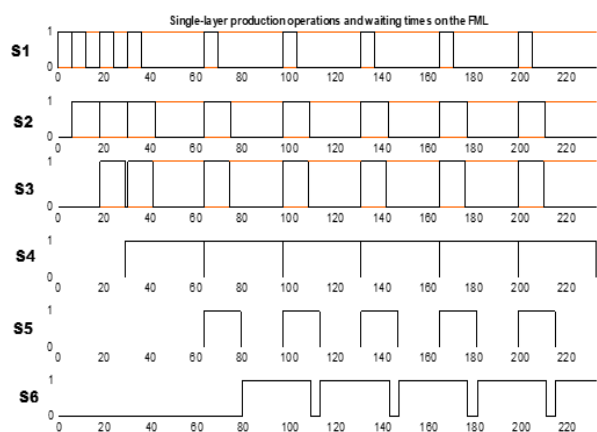


Figura 18

Rezultat testare asamblare piesa cu un singur strat intern

Se poate observa suprapunerea primei și celei de-a doua treceri a sistemului de fabricație în stațiile 4 și 5. Se poate observa timpul de transport pe SRTS între stația 5 și stația 4 pentru un nou set de operații. Întoarcerea produsului la o stație anterioară introduce în stațiile următoare un timp inactiv, stațiile care așteaptă sosirea următorului produs. În cazul produselor cu multi-strat de pe LFF, părțile interne sunt plasate pe stația 4. Deoarece stația 4 are capacitatea de a plasa atât piesele interne mici, cât și cele mari, a fost aleasă prin proiectare, ca operația de punere a pieselor interne ale produselor multi-start de pe LFF să fie realizată în această stație. Sistemul de fabricație propus are, de asemenea, capacitatea de a asambla produse multi-strat în FFC în stația 3. Pentru transportul produselor asamblate de la FMC la punctul de control al calității în stația 6 se utilizează SRTS. Fabricarea produselor cu mai multe straturi pe FFC și LFF poate fi sincronizată astfel încât timpul de repaus al stației atunci când un produs de pe LFF revine pentru ca un nou set de operațiuni să fie eliminat prin introducerea unui produs de la FFC pentru un test de control al calității.

4.4.3. Testare în laborator a conducerii în timp real a liniei de fabricație flexibilă de precizie LA/D, asistată în procesul reversibil de dezasamblare de SAC și manipuloare cu taskuri colaborative, integrate în tehnologii de asistare

În cadrul conducerii în timp real a liniei de fabricație flexibilă au fost considerate două situații: una de asamblare/dezasamblare deservită de manipuloare cu taskuri colaborative, și una de realimentare a stațiilor de lucru deservită de SAC. Pentru ambele situații au fost considerați algoritmi de conducere a proceselor, ce să asigure rezultate optime.

4.4.3.1. Conducerea în timp real a procesului de producție în cadrul SIFF

În testarea conducerii procesului de producție a fost considerată asamblarea a două tipuri de produse: un produs cu multiple straturi interne, considerat tip 1; și un produs cu un singur strat intern, considerat tip 2.

Pentru planificarea fabricației s-a considerat un algoritm de optimizarea a producției prin minimizarea timpilor de așteptare, fiind definită o funcție de minimizare a timpului de producție. În ambele fluxuri de producție sunt de asemenea prezente taskuri colaborative între diferite sisteme robotice. Pe lângă diferite sincronizări între brațele robotice prezente în stațiile 3 și 4 este prezentă o sincronizare între sistemul robotic de transport SCARA și cele două brațe robotice. SRTS se sincronizează cu cei doi roboți pentru a evita coliziuni în timpul execuției diferitelor operații în același spațiu de lucru. Flexibilitatea sistemului de producție este dată, în această situație, de posibilitatea de asamblare a două produse diferite cu ordine de asamblare distinctă, fără a fi necesară reconfigurarea hardware-ului. Pe baza algoritmului de optimizare a fost realizată o simulare a planificării sarcinilor de asamblare și transport în cadrul procesului. Pe baza simulării a putut fi confirmat rezultatul propus de algoritmul realizat, obținând un flux continuu la ieșirea sistemului prin minimizare timpilor de așteptare. Un alt element confirmat a fost sincronizarea producției de FFC și LFF astfel încât ieșirea fluxului de producție de pe FFC să se suprapună întoarcerii produsului de tip 1 pentru o nouă operație în stația 4.

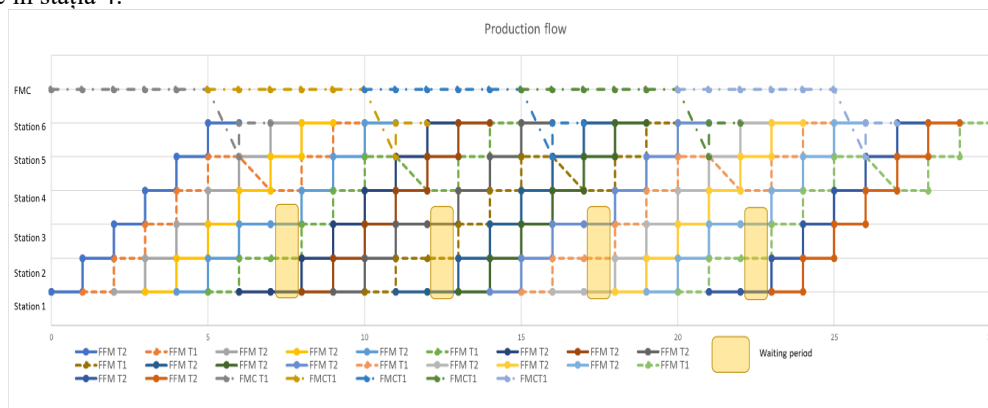
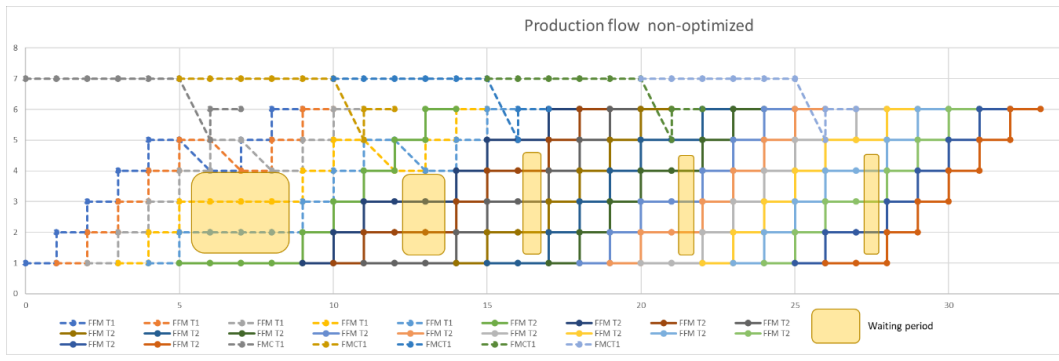


Figura 19

Rezultat testare asamblare piesa multistrat

a)

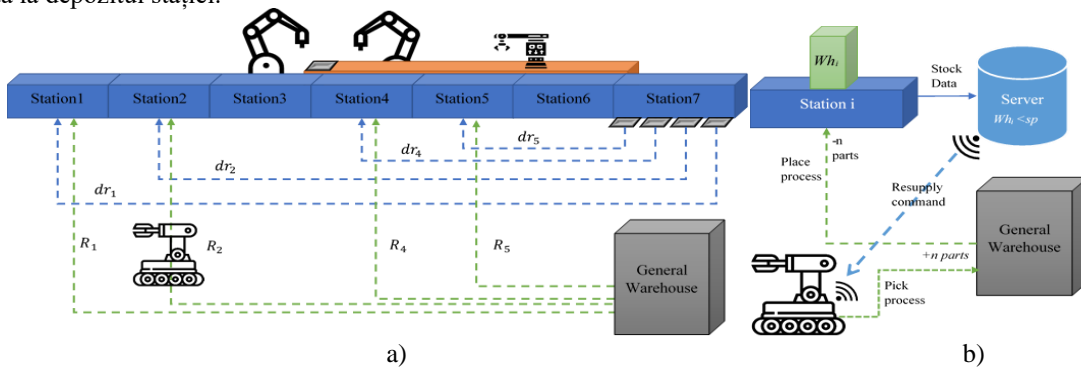


b)

Figura 20. Fluxul de producție obținut prin testarea în timp real a asamblării: a) optimizate, b) neoptimizate. În Figura 20 este evidențiat timpul de așteptare atât pentru fluxul de producție optimizat, cât și pentru cel neoptimizat. Pentru situația optimizată, timpul de așteptare este redus de la un $8 \cdot T_{prod\ max}$ la un $4 \cdot T_{prod\ max}$, reprezentând o reducere de 50% a timpului de așteptare. Pe lângă reducerea timpilor de așteptare, utilizarea stațiilor de lucru este îmbunătățită. În situația optimizată, inactivitatea este redusă la primele trei stații în comparație cu situația neoptimizată, în care primele patru stații așteaptă după producția produselor de tip 1. Ca urmare a reducerii timpilor de așteptare și a planificării producției, timpul total de fabricație pentru producția optimizată pentru cazul studiat a fost redus de la o durată de $33 \cdot T_{prod\ max}$ la o durată de $30 \cdot T_{prod\ max}$ reprezentând o reducere de 9% comparativ cu cazul neoptimizat.

4.4.3.1. Conducerea în timp real a procesului de realimentare al stațiilor

Procesul de aprovizionare prezentat în Fig. 20 este definit de producția și parametrii robotului mobil. Într-o manieră neoptimizată, robotul mobil primește o comandă de aprovizionare atunci când stocurile dintr-un depozit al stației de lucru sunt sub un prag stabilit. La comanda de aprovizionare, robotul mobil preia un număr predefinit de piese și le transportă la depozitul stației.

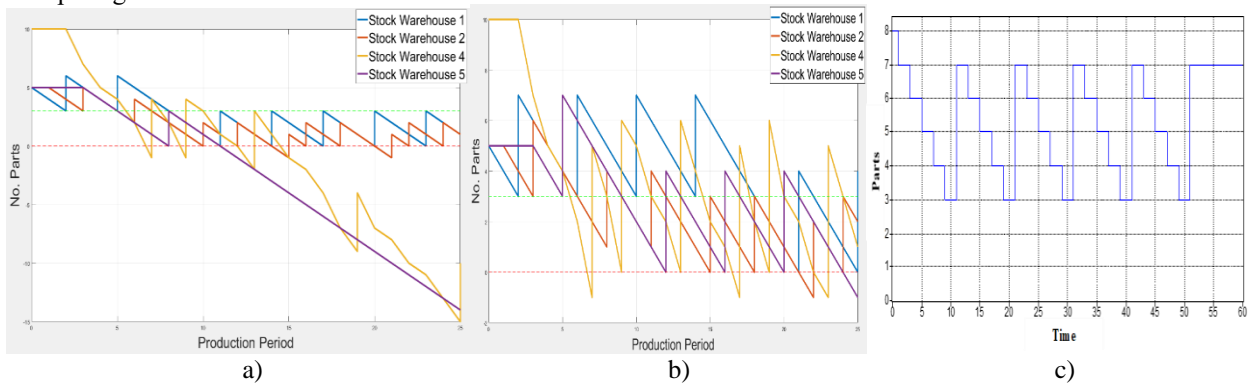


a)

b)

Figura 21. a)Trajectoriile de aprovizionare a stațiilor de lucru, b)Procesul de realimentare detaliat

Conectarea robotului mobil la un server local prin intermediul unei conexiuni wireless permite furnizarea în timp real de date către robotul mobil dar și o putere de calcul mai mare pentru robotul mobil prin posibilitatea folosirii de Cloud Computing.



a)

b)

c)

Figura 22. a)Evoluția stocurilor prin o aprovizionare neoptimizată insuficientă, b)Evoluția stocurilor prin o aprovizionare neoptimizată cu o capacitate crescută de aprovizionare; c) Rezultatul ideal pentru aprovizionarea stației 1 obținut cu ajutorul algoritmului de optimizare

În cadrul aprovizionării neoptimizate cu ajutorul robotului mobil există anumite stații care vor trebui să aștepte pentru realizarea aprovizionării. Acest lucru induce timpuri de așteptare în cadrul producției. Pentru a elimina acești timpuri de așteptare pentru optimizarea procesului de aprovizionare a stațiilor a fost folosită o funcție de minimizare a timpilor de

asteptare în stații. Plecând de la funcția de minimizare propusă algoritmul de aprovizionare a stațiilor a fost inițial testat pe un model Petri, fiind ulterior utilizat în conducerea aprovizionării SIFF în timp real (Fig. 23b). Pe baza modelului Petri se obține o reprezentare ideală de aprovizionare. În Fig. 23a sunt prezentate valorile stocurilor pentru depozitele obținute în condiții ideale. În aceste condiții, nivelurile stocului fluctuează într-un interval egal cu capacitatea de aprovizionare a robotului mobil (Fig. 22b).

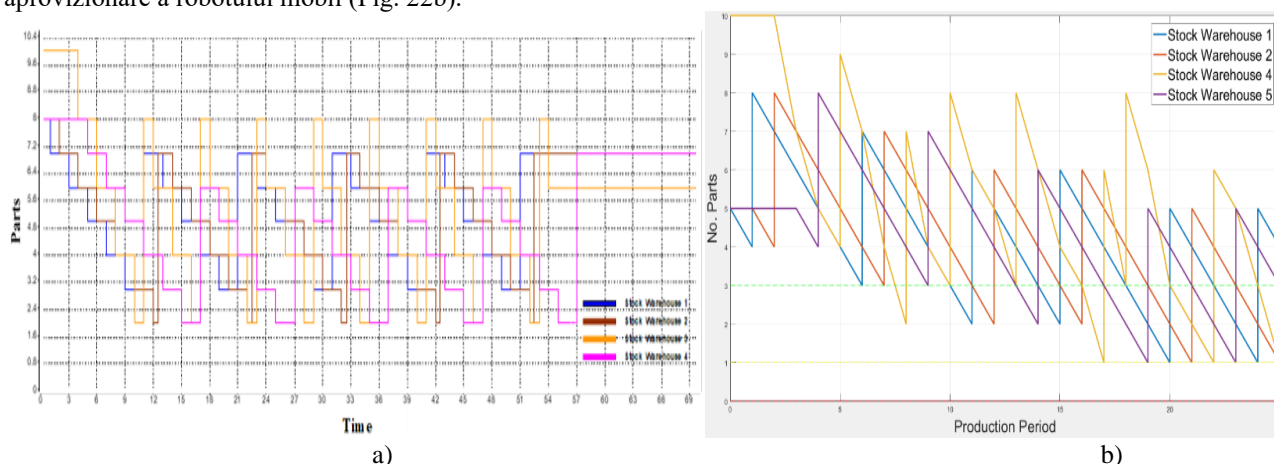


Figura 23. a) Evoluția stocurilor în condiții ideale, b) evoluția stocurilor în condiții reale

Rezultatele obținute după optimizare arată că timpul de așteptare a fost redus cu 11,5% comparativ cu procesul de neoptimizare. În procesul neoptimizat, realimentarea stocului se face conform politicii de servire a cererilor în ordinea sosirii cererilor (FIFO) înregistrate în baza de date SQL, la nivelul stației. Reducerea timpului de așteptare este rezultatul direct al aplicării componentei predictive a funcției de optimizare, care trimite cereri de completare înainte ca stocul să atingă pragul critic stabilit pentru fiecare depozit

CONCLUZII

Raportul științific detaliat pune în evidență soluțiile științifice pe care echipa de lucru a Proiectului 4 le oferă pentru cerințele Etapei 4. În Raportul științific detaliat (http://cidsacteh.valahia.ro/p4/files/Raport_Etapa4_extins_RO.pdf) se prezintă rezultate ale acțiunilor de *Testare în laborator a conducerii în timp real a liniilor de fabricație flexibilă de precizie LA/D, asistate în procesul reversibil de dezasamblare de SAC integrate în tehnologii de asistare, SAC-VAM, roboți mobili (2DW/IFW) echipat cu Manipulator 6-DOF Arm*. În urma secvențelor de testare a conducerii **Sistemului Integrat pentru Fabricație Flexibilă**, cu integrarea unui algoritm de planificare optimizată a fabricației flexibile și a stocurilor de componente din magazinele SIFF, și a conducerii colaborative a manipuletoarelor și a roboților mobili, s-au efectuat secvențe de testare care au livrat următoarele rezultate: *Rezultate ale testării în laborator a conducerii liniilor flexibile de fabricație, integrate în tehnologii hibride, asistate de SAC-VAM și SAC-ARP colaborative, în procesul de recuperare/reutilizare a componentelor, în magazii; Rezultate ale testării în laborator a conducerii liniilor flexibile de fabricație, integrate în tehnologii hibride, asistate de SAC-VAM și SAC-ARP colaborative, în procesul de aprovizionare cu componente a magaziiilor; Rezultate ale testării în laborator a conducerii liniilor flexibile de fabricație, integrate în tehnologii hibride, deservite de manipuletoare colaborative în procesul de dezasamblare și recuperare a componentelor în magazii; Rezultate ale testării în laborator a unei tehnologii generalizate de adaptare a unei linii de asamblare/dezasamblare cu control în flux al fabricației, în linie de asamblare/dezasamblare pentru fabricației flexibile*

REZULTATE AȘTEPTATE

În cadrul Etapei 4 a proiectului 4 s-a obținut următoarele rezultate:

1. *Validarea prin testare a algoritmului de planificare optimizată a producției, implementat pe linia de fabricație flexibilă cu fluxuri paralele, sincronizate, deservite de manipuletoare și SAC-VAM colaborative;*
2. *Validare prin testare a tehnologiei hibride de fabricație flexibilă, cu fluxuri paralele sincronizate, asistate în procesul reversibil de dezasamblare de SAC integrate în tehnologii de asistare, SAC-ARP, roboți mobili (2DW/IFW) echipat cu Manipulator 6-DOF Arm și SAC-VAM, roboți mobili (2DW/2SW) echipați cu Manipulator 6-DOF*

INDICATORI DE REALIZARE

1. Serviciu de cercetare privind SAC-VAM și SAC-ARP integrate în tehnologii hibride de deservire, pe linii de fabricație flexibilă de precizie pentru A/D;
2. Tehnologie hibridă de fabricație flexibilă bazată pe produsul software de sincronizare a conducerii a două procese paralele de fabricație flexibilă cu execuție sincronizată, integrate în sistemul pentru fabricație flexibilă;
3. Tehnologie hibridă de fabricație flexibilă, de precizie, de A/D pe linii de laborator (de mecatronică) cu SAC-ARP și SAC-VAM colaborative;
4. Două locuri noi de muncă în cercetare susținute prin program. La partenerul UVT sunt angajați 2 cercetători noi în domeniul Ingineriei sistemelor, pe poziția de Cercetător în Automatica, care sunt incluși în lista de personal a partenerului UVT.

DISEMINARE

Articole prezentate la Conferințe naționale și internaționale în anul 2021

1. *Modeling and control of assembly/dissassembly manufacturing line redesigned from flux to flexible manufacturing*, Octavian Gabriel DUCA, Eugenia Minca, Marius-Adrian PAUN, Valentin GURGU, Petrut Claudiu Bidica, 25th International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC), Sinaia, Romania during October 20-23, 2021
2. *Multifunctional Technology of Flexible Manufacturing on a Mechatronics Line with IRM and CAS, Ready for Industry 4.0*, Filipescu, A (Filipescu, Adriana), Ionescu, D (Ionescu, Dan), Filipescu, A (Filipescu, Adrian), Minca, E (Minca, Eugenia), Simion, G (Simion, Georgian), PROCESSES Journal, Volume9, Issue 5, Article Number 864, DOI 10.3390/pr9050864, WOS:000654500500001
3. *Optimization of Production Planning for a Flexible Assembly Technology on a Mechatronics Lines*, Octavian Gabriel DUCA, Claudiu BIDICA, Eugenia Mincă, Valentin GURGU, Marius-Adrian PAUN, Florin DRAGOMIR, Journal name: STUDIES IN INFORMATICS AND CONTROL, Volume 30, Issue 1, Page 53-66, DOI 10.24846/v30i1y202105, Published MAR 2021, WOS:000636266000005
4. *Optimal Control of Automated Resupply on a Flexible Manufacturing Mechatronics Line* Octavian Gabriel DUCA, Eugenia Mincă, Adrian FILIPESCU, Claudiu BIDICA, Marius-Adrian PAUN, 2020 24th International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC), 2020, pp. 921-926, doi: 10.1109/ICSTCC50638.2020.9259660.

LOCURI DE MUNCA SUSTINUTE PRIN PROGRAM, INCLUSIV RESURSA UMANA NOU ANGAJATA

Echipa de proiect care partenerul UVT a contribuit la cercetări în Etapa 4, este formată din 12 (doisprezece) cercetători (inclusi în lista de personal a proiectului 4). Dintre aceștia, 2 (doi) sunt tinerii cercetători nou angajați la partenerul UVT, pe poziția de Asistent de cercetare în automată.

PREZENTAREA STRUCTURII OFERTEI DE SERVICII DE CERCETARE SI TEHNOLOGICE CU INDICAREA LINK-ULUI DIN PLATFORMA ERRIS

SERVICII DE CERCETARE SI TEHNOLOGICE

Produse/ Produse informatice/ Tehnologii

Linie de fabricație flexibilă de precizie cu două fluxuri de producție paralele și sincronizate, reversibile, deservite de SAC-ARP (Sistem autonom complex – Asistent Robotic Personal) și SAC-VAM (Sistem autonom complex- Vehicul Autonom Mobil)

Descriere - Structura de conducere în timp real a liniilor de asamblare /dezasamblare de precizie, integrate în tehnologii hibride de fabricație, asistate în procesul reversibil de dezamblare de SAC, integrate în tehnologii de asistare. Linie pentru fabricație flexibilă cu două fluxuri de producție paralele, sincronizate, și deservite de SAC-VAM și SAC-ARP.

<https://erris.gov.ro/Valahia-University-of-Targoviste>

Servicii

Tehnologie hibridă de fabricație flexibilă, de precizie, de asamblare/dezasamblare pe linii mecatronice de laborator cu SAC_ARP și SAC-VAM integrate

Tehnologie hibridă de fabricație flexibilă bazată pe produsul software de sincronizare a conducerii a două procese paralele pentru fabricație flexibilă, cu execuție sincronizată, integrate în sistemul pentru fabricație flexibilă;

<https://erris.gov.ro/Valahia-University-of-Targoviste>

PROIECT 5

Proiect component: Pr.5 *Conducerea inteligentă, cu tehnici avansate și navigația bazată pe senzori performanți, sistem video-biometric și sistem servoing vizual a sistemului autonom complex SAC-SI integrat în tehnologia de asistare a persoanelor cu dizabilități neuro-motorii severe*

Obiective Etapa 4. Testarea în laborator a structurii de conducere și a structurii de navigație (bazată pe senzori performanți) în timp real a SAC-SI integrat în tehnologia de asistare a persoanelor cu dizabilități neuro-motorii severe.

Etapa 4 – P5. Cercetările au condus în final la implementarea și testarea în timp-real a structurii de conducere, navigație și evitare a obstacolelor pentru sistemul autonom complex SAC-SI, sistem robotic autonom format din scaun cu roțile și manipulator robotic cu 7-DOF integrat în tehnologia de asistare a persoanelor cu dizabilități neuro-motorii. Cercetările Etapei 4 răspund obiectivelor de cercetare aferente Activității 4.5, din planul de realizare al proiectului complex, și au condus în final la validarea prin testare a conducerii în timp real a sistemului autonom complex SAC-SI. Cercetările pentru implementare/testare au impus stabilirea unei proceduri de planificare a traiectoriei sistemului complex CAS-SI. S-a elaborat un algoritm de trecere prin spații înguste (ușă) a sistemului complex CAS-SI. În cadrul acestei etape s-a realizat și testat în condiții de laborator un pachet software necesar conducerii sistemului complex CAS-SI prin spații înguste (ușă) - bazat pe senzori de tip laser și video. Senzorul de tip laser a fost utilizat pentru

detectarea spațiului necesar manevrelor de trecere prin cadrul ușii iar camera video a fost utilizată pentru detectarea ușii (folosind coduri QR). **Activitatea 4.5.** Testarea în timp-real a structurii de conducere, navigație și evitare a obstacolelor pentru sistemul autonom complex SAC-SI integrat în tehnologia de asistare a persoanelor cu dizabilități neuro-motorii severe în condiții de laborator. **Indicatori de realizare:** S-a realizat o structură de conducere, navigație și evitare a obstacolelor pentru SAC-SI integrat în tehnologia de asistare a persoanelor cu dizabilități neuro-motorii severe, testate în condiții de laborator; S-a realizat o structura de ofertă de servicii de cercetare privind SAC-SI integrat în tehnologia de asistare a persoanelor cu dizabilități neuro-motorii severe prezenta în platforma erris a instituțiilor partenere din consorțiu: UVT: <https://erris.gov.ro/Valahia-University-of-Targoviste>;UCV : <https://erris.gov.ro/Computer-Aided-Design-CAD-C>. În cadrul acestei activități s-a testat o structură de conducere a unei platforme robotice cu 2 roți motoare utilizând un sensor de tip laser și o cameră video (web) a se vedea figura 5.1. Un sistem autonom de traversare a ușii devine un modul foarte important pentru navigația autonomă a sistemelor autonome complexe de tip SAC-SI, deoarece atunci când este combinat cu modulele de urmărire a peretelui, asigură un sistem de navigație complet pentru mediile interioare. Conducerea unei platforme robotice cu două roți motoare prin dreptul unei uși, urmărirea unui anumit perete sau urmărirea coridorului sunt abilități utilizate în cazul sistemelor de navigare a roboților mobili autonomi. În lumea reală există puține aplicații care iau în considerare mișcările robotului mobile de trecere prin dreptul unor ieșiri înguste, cerințe foarte des întâlnite în cazul sistemelor de navigare autonome.

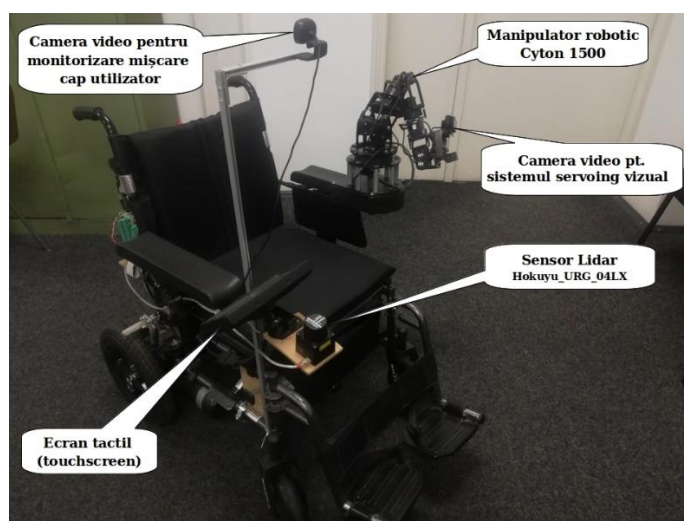


Fig. 5.1 Sistemul autonom complex SAC-SI integrat în tehnologia de asistare a persoanelor cu dizabilități neuro-motorii severe (vedere din față).

Algoritmul de trecere/deplasare prin spații înguste constă în scanarea mediului înconjurător utilizând un sensor de tip laser și calcularea a 6 puncte/poziții pe care robotul mobil trebuie să le atingă. După atingerea ultimului punct se face iar scanarea mediului înconjurător și se calculează următoarele 6 puncte. Acest proces se repetă până când robotul mobil ajunge în punctul final dorit. Pentru a stabili punctul final în care trebuie să ajungă robotul, avem nevoie de „cadrul” în care se află ușa. Această informație este obținută de la o camera video care detectează cadrul ușii utilizând un cod QR (a se vedea figurile 5.2 și 5.3). Scema algoritmului utilizat pentru detectarea unei uși este prezentată în figura 5.4. Pentru a detecta spațiul necesar pentru deplasarea robotului mobil se utilizează senzorul de tip laser și algoritmul realizat în Matlab folosind un ciclu repetitiv de tip „for” care „desenează” mai multe semicercuri plasate la o distanță de 0.1m (de la 0.3 m până la 1 m).

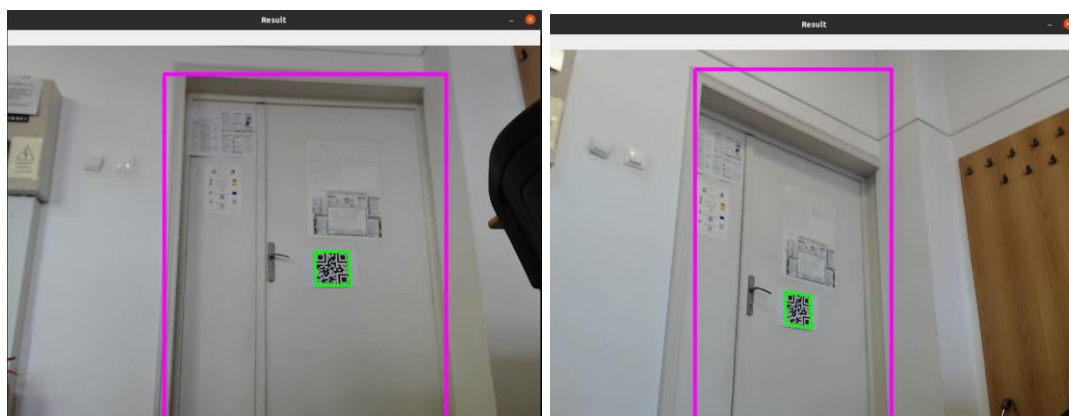


Fig. 5.2 Diverse imagini conținând ușa detectată utilizând codul QR.

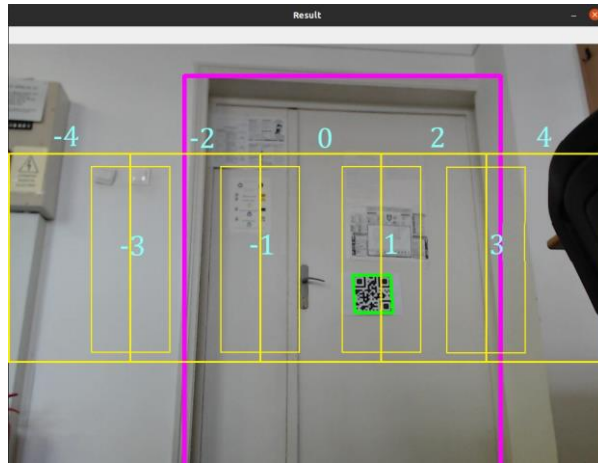


Fig. 5.3 Împărțirea în 9 cadrane a imaginii (în acest exemplu codul QR se găsește în cadranel nr. 1).

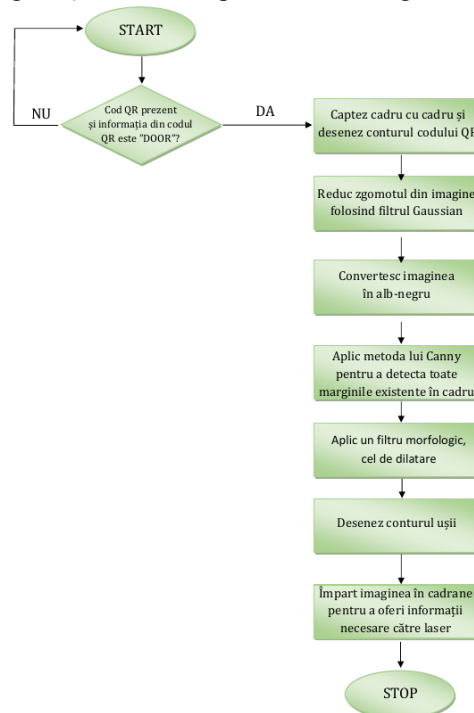


Fig. 5.4 Schema logică a algoritmului utilizat pentru detectarea unei uși.

```

for arc = 0.3:0.1:1
  for i = 1:12
    for j = 1:43
      if arc == 0.3
        if citire_laser(j+((i-1)*43)) <= arc && citire_laser(j+((i-1)*43)) > 0.2
          punct_fereastră(j, i) = 1; % fereastră ocupată
        else
          punct_fereastră(j, i) = 0; % fereastră liberă
        end
      else
        if citire_laser(j+((i-1)*43)) <= arc+0.2 && citire_laser(j+((i-1)*43)) > arc-0.2
          punct_fereastră(j, i) = 1; % fereastră ocupată
        else
          punct_fereastră(j, i) = 0; % fereastră liberă
        end
      end
    end
  end
end
end
  
```

Cel de-al doilea ciclu repetitiv parcurge numărul de ferestre, 12 la număr, cu ajutorul contorului "i". Ce de-al treilea ciclu repetitiv parcurge cu ajutorul contorului "j" fiecare fereastră cu dimensiunea de 15 grade, asta însemnând un număr de 43 de citiri. Cu ajutorul structurii "if" se verifică dacă în interiorul ferestrei "i" există obstacole. În cazul în care fereastră este ocupată variabilei "punct_fereastră" i se atribuie valoarea 1, dar dacă fereastră este liberă variabilei "punct_fereastră" i se atribuie valoarea 0. În continuare se folosește matricea "A" în interiorul căreia se cumulează pentru fiecare arc și fiecare fereastră numărul de puncte verificate și tipul acestora, libere sau ocupate. Se definește și un vector "grade" care conține gradele limitelor ferestrelor.

```
A(c, 1:12) = sum(punct_fereastră);
grade = [ 15 30 45 60 75 90 105 120 135 150 165 180];
```

Următoarea etapă realizează verificarea matricei A pentru a vedea care fereastră are obstacole și care fereastră este liberă. Ferestrelor ocupate li se atribuie valoarea 0, iar ferestrelor libere li se atribuie valoarea unghiului corespunzător poziției, acest lucru se poate observa în figura 5.5.

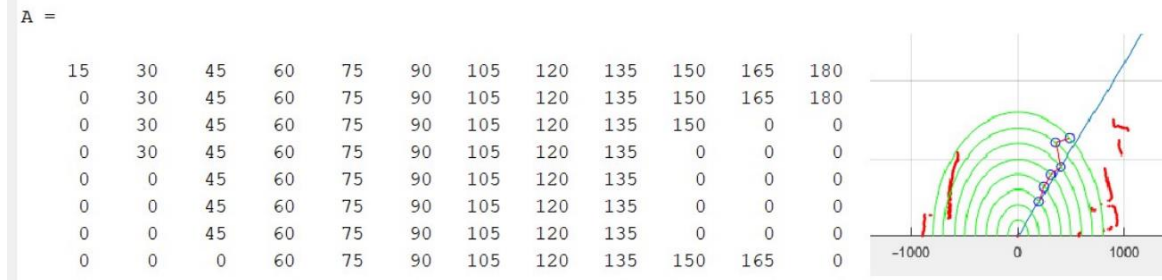


Fig. 5.5 Matricea A asociată graficului exemplificat

În continuare se prezintă câteva exemple de cazuri concrete:

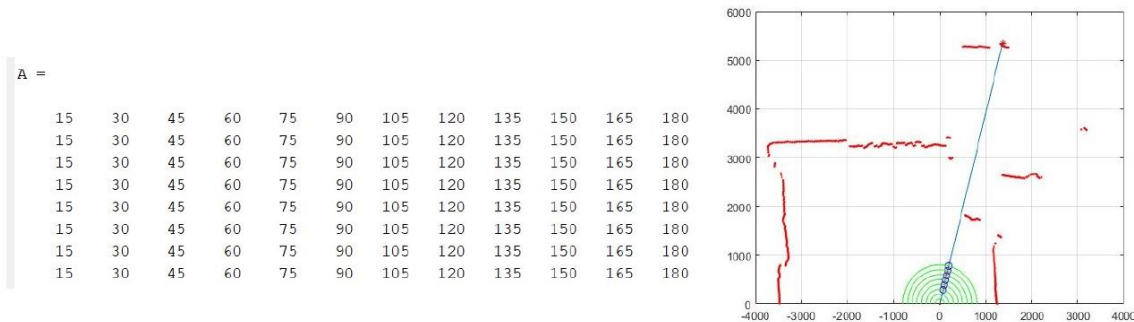


Fig. 5.6a Pe traiectoria robotului mobil nu există obstacole.

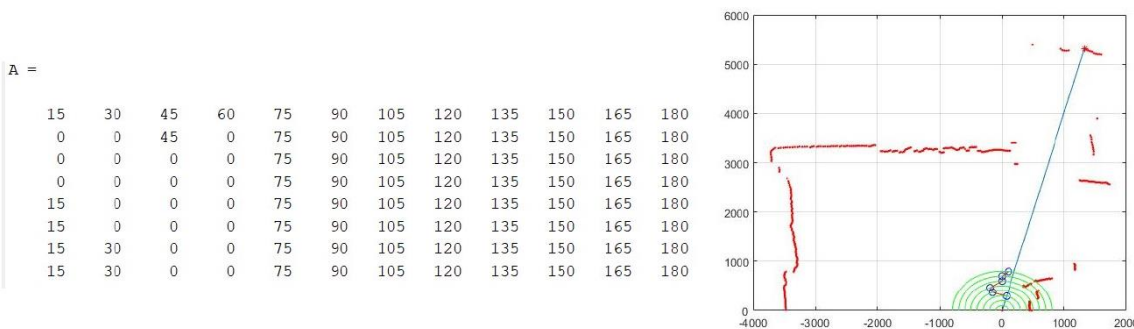


Fig. 5.6b Pe traiectoria robotului mobil există obstacole.

În continuare sunt prezentate câteva rezultatele experimentale Pentru aceste rezultate s-a ținut cont de dimensiunea robotului mobil SAC-SI precum și de raza de acțiune a senzorului laser utilizat.

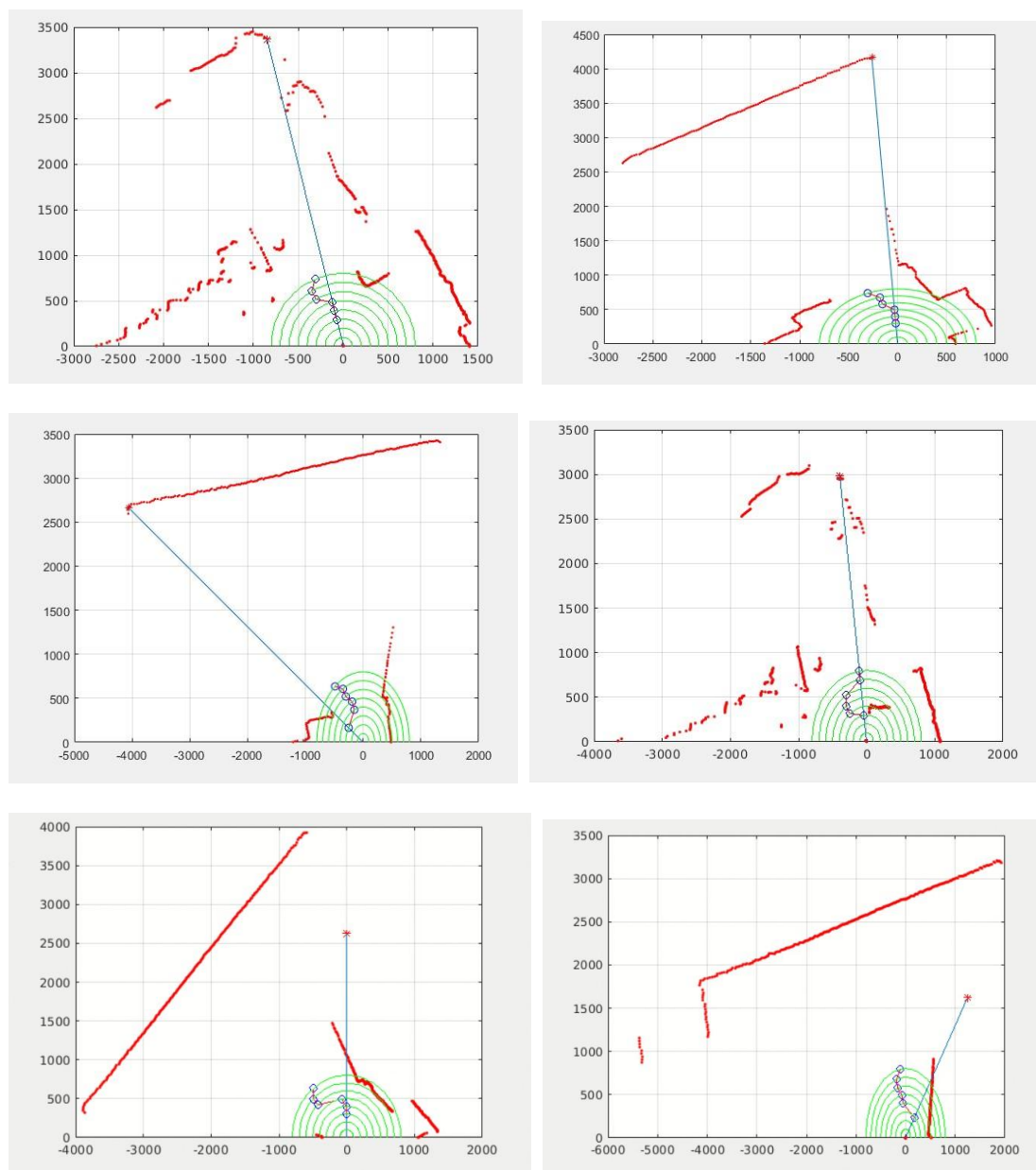


Fig. 5.7 Rezultate experimentale – ieșirea pe ușă a robotului mobil

CONCLUZII: Raportul științific pune în evidență soluțiile pe care echipa de lucru a Proiectului 5 le oferă pentru cerințele Etapei 4. În Raportul științific detaliat încărcat pe platforma proiectului P5 (<http://www.cidsacteh.ugal.ro>), se pot vizualiza soluțiile și rezultatele cercetării aferente Etapei 4. ”Rezultatele testării în laborator ale structurii de conducere inteligentă, ale structurii de navigație (bazată pe senzori performanți) și ale structurii de conducere bazată pe sisteme servoing vizuale în timp real a SAC-SI integrat în tehnologia de asistare a persoanelor cu dizabilități neuro-motorii severe”.

REZULTATE ETAPA 4 1) S-a elaborat un algoritm de trecere prin spații înguste (ușă) a unei platforme robotice cu două roți motoare. În cadrul acestei etape s-a realizat și testat în condiții de laborator un pachet software necesar conducerii unei platforme robotice cu două roți motoare (de tip SAC-SI) prin spații înguste (ușă) - bazat pe senzori de tip laser și video. Senzorul de tip laser a fost utilizat pentru detectarea spațiului necesar manevrelor de trecere prin cadrul ușii iar camera video a fost utilizată pentru detectarea ușii (folosind coduri QR). 2) S-a realizat o structura de ofertă de servicii de cercetare privind SAC-SI integrat în tehnologia de asistare a persoanelor cu dizabilități neuro-motorii severe prezenta în platforma erris a instituțiilor partenerare din consorțiu:

UVT : <https://erris.gov.ro/Valahia-University-of-Targoviste>

UCV : <https://erris.gov.ro/Computer-Aided-Design-CAD--C>

Director proiect complex
Prof. Dr. Ing. Adrian FILIPESCU

30.09.2021