

PROIECT 3

Conducerea inteligentă, cu tehnici avansate și navigația bazată pe senzori performanți și sisteme servoing vizuale a Sistem Autonom Complex -Asistent Robotic Personal SAC-ARP și Sistem Autonom Complex -Vehicul Autonom Multidirecțional SAC-VAM integrate în tehnologii de asistare medico-socială și deservire de linii fabricație flexibilă de precizie, de laborator (linii de mecatronică) și industriale

ETAPA 2(2019)

Proiectarea și implementarea structurii de navigație pentru cele două sisteme complexe SAC-ARP și SAC-VAM și Proiectarea și implementarea structurii de conducere pentru poziționare precisă a manipuletoarelor care echipează SAC-ARP și SAC-VAM

Cuprins

OBIECTIVUL 1	3
Tipuri de senzori utilizați pentru detectarea obstacolelor	5
Senzori cu ultrasunete	6
Senzori laser	6
1.a-Proiectarea și implementarea structurii de navigație a SAC-ARP, cu tehnici avansate, bazată pe ultrasunete și laser (Activitatea 2.7)	7
Algoritmul de detectare a spațiilor înguste	7
Navigația SAC-ARP la distanță constantă de pereți	9
1.b -Proiectarea și implementare structurii de navigație a SAC-VAM, cu tehnici avansate, structura bazată pe ultrasunete și laser	12
Navigație cu evitare de obstacole utilizând ultrasunete	12
Navigație cu evitare de obstacole utilizând laser	13
OBIECTIVUL 2	17
Activitatea 2.9 - Proiectarea și implementarea structurii de conducere pentru poziționare precisă a manipuletoarelor care echipează SAC-ARP și SAC-VAM, bazată pe sisteme servoing vizuale mobile	17
Sisteme SV integrate în liniile de fabricație pentru conducerea sistemelor robotice	17
Tipuri de Sisteme Servoing Visual (SV)	17
Proiectarea și implementarea structurii de conducere pentru poziționare precisă a manipuletoarelor care echipează SAC-ARP și SAC-VAM, bazată pe sisteme servoing vizuale mobile	21
Prelucrări preliminare ale imaginii	21
Trăsături vizuale utilizate în sistemele SV	22
Definirea trăsăturilor tip momente ale imaginii	22
Modelarea sistemului SV	23
Matricea de interacțiune pentru momente ale imaginii	23
Legea de conducere proporțională pentru conducerea ansamblului robot mobil manipulator robotic	24
Conducerea în timp real a liniei de prelucrare utilizând un sistem SV mobil	25
Aplicația de sincronizare și conducere video pentru sistemul SV mobil	26

Rezumatul etapei

Raportul tehnico-științific prezintă rezultatele cercetărilor care au avut în vedere două obiective:

1. Proiectarea și implementarea structurii de navigație pentru cele două sisteme complexe SAC-ARP și SAC-VAM

Rezultatele obținute în urma îndeplinirii acestui prim obiectiv, corespund realizării celor două activități:

Activitatea 2.7 -Proiectarea și implementarea structurii de navigație a SAC-ARP, cu tehnici avansate, bazată pe ultrasunete și laser;

Activitatea 2.8 -Proiectarea și implementarea structurii de navigație a SAC-VAM, cu tehnici avansate, structură bazată pe ultrasunete și laser

Roboții mobili sunt folosiți pentru a rezolva diferite sarcini. De aceea, este necesar ca ei să poată genera, fără intervenția operatorului, o traiectorie de deplasare prin intermediul căreia să evite obiectele întâlnite, de aceea algoritmul trebuie să fie cât mai bine structurat, pentru a realiza independența robotului, reușind astfel să treacă peste diferite situații fără a fi nevoie ca acesta să fie asistat.

În navigația sistemelor robotice autonome, abilitatea de evitare de obstacole este o cerință fundamentală.

Pentru SAC-ARP a fost propusă o structură de navigație utilizând laser-pentru trecerea prin uși și alte spații înguste- și sonare pentru navigația cu păstrarea distanței față de un perete. Această structură de navigație a fost simulată și implementată pentru robotul Pioneer 3DX.

Problema navigației cu detectarea obstacolelor pentru SAC-VAM a fost rezolvată pentru un obstacol fix și pentru un obstacol mobil, utilizând pentru detecție, senzorul laser.

2. Proiectarea și implementarea structurii de conducere pentru poziționare precisă a manipuletoarelor care echipează SAC-ARP și SAC-VAM

Rezultatele obținute în urmărirea acestui al doilea obiectiv, sunt corespunzătoare activității:

Activitatea 2.9 - Proiectarea și implementarea structurii de conducere pentru poziționarea precisă a manipuletoarelor care echipează SAC-ARP și SAC-VAM, bazată pe sisteme servoing vizuale mobile.

Pentru închiderea buclei de reglare a poziției manipulatorului robotic, a fost utilizată extragerea de trăsături ale obiectelor din sistemul de fabricație deservit. În funcție de poziția camerei, ce furnizează informațiile pentru închiderea buclei de reglare sistemul servoing poate fi fix sau mobil.

În această lucrare este prezentată o structura de conducere bazată pe servoing vizual mobil (eye in hand)utilizată pentru extragerea unei iese defecte din statia de verificare a calității, depunerea pe un robot ce realizează transferul la stația de prelucrare și apoi depunerea piesei (pentru re prelucrare) în stația aferentă operațiunii respective.

Obiectivul 1

În acest raport sunt prezentate rezultatele cecetărilor pentru atingerea primului obiectiv, considerând două direcții:

1.a -Proiectarea și implementarea structurii de navigație a SAC-ARP, cu tehnici avansate, bazată pe ultrasunete și laser;

1.b -Proiectarea și implementare structurii de navigație a SAC-VAM, cu tehnici avansate, structura bazată pe ultrasunete și laser

Într-un mediu industrial, vehiculul autonom care deservește o linie tehnologică de fabricație, este necesar să fie echipat cu un sistem de navigație pentru a evita obstacole fixe (stâlpi, cutii, mese), sau mobile (persoane, alte sisteme autonome).

Dacă roboții mobili sunt folosiți pentru a rezolva diferite sarcini, este necesar ca ei să poată genera, fără intervenția operatorului, o traiectorie de deplasare prin intermediul căreia să evite obiectele întâlnite, de aceea algoritmul trebuie să fie cât mai bine structurat, pentru a realiza independența robotului, reușind astfel să treacă peste diferite situații fără a fi nevoie ca acesta să fie asistat.

În navigația sistemelor robotice autonome, abilitatea de evitare de obstacole este o cerință fundamentală. Soluțiile propuse în literatură în vederea rezolvării acestei probleme sunt clasificate în două categorii:

- Metode reactive,
- Metode deliberative.

În *metodele reactive*, sistemul autonom se bazează pe senzori în vederea obținerii informațiilor în timp real despre mediu, eventualele obstacole întâlnite și apoi generarea traiectoriei pentru ocolire. Un dezavantaj al acestei metode este vulnerabilitatea față de erorile furnizate de senzori.

În *metodele deliberative*, sistemul autonom are la dispoziție a-priori informații complete despre mediu și eventualele obstacole. Un dezavantaj al acestei metode este prelucrarea unui volum ridicat de informații

Structurile sistemelor de conducere pentru rezolvarea problemei de navigație, pentru Sistemul Autonom Complex-Asistent Robotic Personal SAC-ARP și pentru Sistem Autonom Complex -Vehicul Autonom Multidirecțional SAC-VAM, care sunt rezultatul acestei etape, se bazează pe modelele obținute în etapa 2018 a proiectului.

Echipamentele care sunt considerate pentru structurile de navigație propuse:

- SAC –ARP, în acest proiect:

-robotul mobil Pioneer 3-DX (2DW/1F) echipat cu manipulatorul Pioneer 5-DOF Arm sau cu manipulatorul robotic Cyton Gamma 1500 6-DOF;

-robotul mobil PeopleBot (2DW/2F) sau PatrolBot(2DW/2F) echipat cu manipulatorul Pioneer 5-DOF Arm sau cu manipulatorul robotic Cyton Gamma 1500 6-DOF;

- SAC-VAM, considerat în acest proiect, este

- vehiculul autonom SEEKUR Robot Base, cu 4 roți motoare și directoare 4DW/ 4SW

- sau robotul PowerBot cu 4 roți motoare și directoare

echipate cu manipulator robotic cu 6 grade de libertate (6-DOF) sau/și cu o targă , pentru a deveni un *Sistem Autonom Complex -Vehicul Autonom Multidirecțional SAC-VAM integrat în tehnologii de asistare medico-socială* fiind astfel capabil să transporte, să tracteze și să manipuleze targă medicală cu sarcină de greutate mare, având astfel posibilitatea să efectueze salvare pe orice tip de teren.

Tipuri de senzori utilizați pentru detectarea obstacolelor

Problemele de conducere a sistemelor autonome complexe au atras o atenție considerabilă în ultimii ani. Pentru rezolvarea problemei de navigație, atât pentru SAC-ARP (Sistem Autonom Complex -Asistent Robotic Personal) cât și pentru SAC-VAM (Sistem Autonom Complex - Vehicul Autonom Multidirecțional), aceste sisteme au nevoie de informații fiabile despre poziția, distanța față de obstacole și eventual viteza obstacolelor, dacă acestea sunt în mișcare: GPS, ultrasunete, laser, infraroșu și nu în ultimul rând senzori bipoziționali pentru oprirea de urgență.

Pentru rezolvarea problemei de navigație în mediu necunoscut, prima etapă vizează detectarea de obstacole, pe baza informațiilor provenite de la senzor și se elaborează o hartă a poziționării. În urma analizei, se determină cel mai apropiat obstacol de pe direcția de deplasare a sistemului autonom. Această informație contribuie la ajustarea vitezei și este utilizată în etapa a doua, de generare a traiectoriei de ocolire. Urmărirea traiectoriei de ocolire trebuie făcută cu satisfacerea unor performanțe de urmărire (poziție, viteză, accelerație). În final urmează etapa a treia, în care sistemul autonom trebuie să urmărească traiectoria inițială cu performanțele impuse. Cele trei etape sunt prezentate în Fig.1

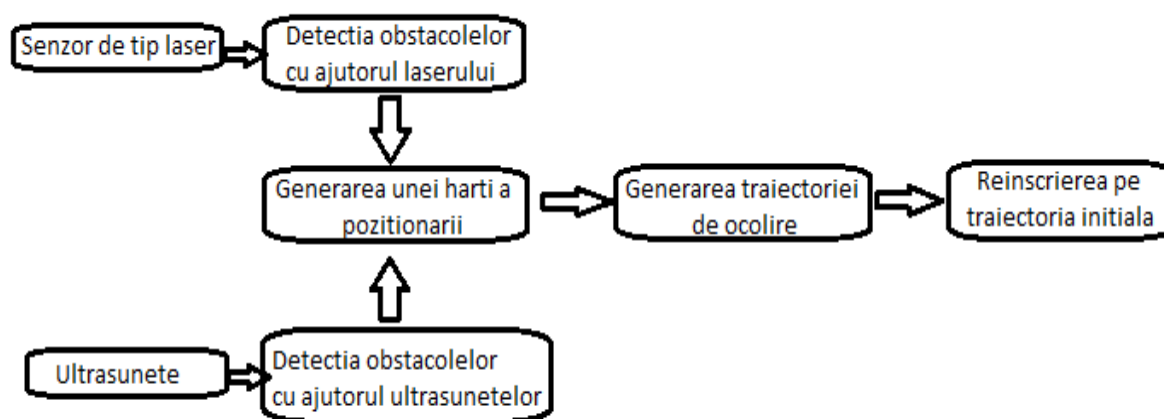


Figura 1. Etapele parcurse pentru rezolvarea problemei de navigație cu detectarea obstacolelor

În general pentru toate categoriile de senzori, trebuie să se țină seamă de următoarele aspecte:

- Orice tip de senzor, oricât de performant ar fi, furnizează informație care este afectată de zgomot;
- Măsurătorile realizate de orice tip de senzor nu oferă informații complete despre mediul în care acestea se desfășoară;
- Niciun senzor nu poate fi modelat complet.

Referitor la ultimele două aspecte, este necesar ca sistemul de navigație să includă o componentă de fuziune.

Senzorii utilizați în structurile de navigație din acest proiect, sunt senzori laser și senzori cu ultrasunete.

Senzori cu ultrasunete

Senzorul pe bază de ultrasunete (sonar) este cel mai des utilizat deoarece prețul este inferior celui cu laser.

În Fig.2. sunt prezentate configurațiile sonarelor care echipează platformele mobile de tipul Wheeled Mobile Robot- WMR utilizate.



Figura 2. Dispunerea sonarelor pe WMR

Senzori laser

Una din cele mai precise categorii de senzori o constituie categoria senzorilor laser. Cu ajutorul acestor senzori se poate măsura distanța, viteza cât și accelerația anumitor obiecte din mediu, față de robotul mobil.

Principiul pe care operează un senzor laser este similar cu cel al unui senzor sonar însă, în loc de a trimite un semnal acustic, este trimis un impuls scurt de lumină. Timpul între transmisia și recepția impulsului luminos este folosit pentru a determina distanța până la obiectul respectiv.

Cele mai cunoscute firme producătoare de senzori laser pentru aplicațiile cu roboți mobili sunt SICK și Hokuyo. Fiecare model diferă prin caracteristicile sale: preț, acuratețe, distanța maximă măsurată. În structura sistemelor de navigație din acest proiect, am utilizat senzorul Hokuyo URG-04LX-UG01.

Un prim avantaj al utilizării laserului este distanța maximă detectabilă, de $[0 \ 20]m$, față de distanța returnată de sonare care este de $[0.15 \ 5]m$. Ceea ce subliniază faptul că, în cazul sonarelor, detectarea obstacolelor cuprinse între $[0 \ 0.15]m$ este eronată. Pentru a elimina zonele „orbe” se utilizează laserul, care nu prezintă zone cu unghi mort. Acest avantaj al utilizării senzorilor de tip laser este prezentat în Fig.3. În MobileSim, zona de detecție a laserului este de culoare albastră.

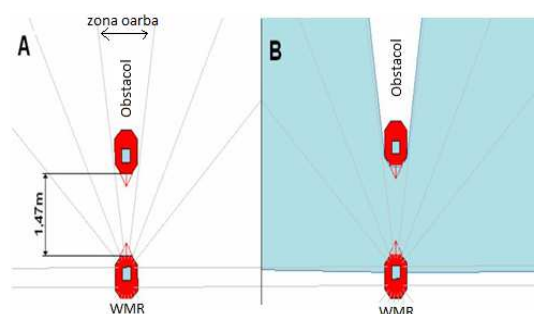


Figura 3. Comparație între senzorul cu ultrasunete și senzorul laser
Având în vedere avantajele și dezavantajele utilizării celor două tipuri de senzori, în structurile de navigație propuse sunt utilizați împreună și sistemul de navigație conține o componentă în care se face fuziunea celor doi senzori.

1.a-Proiectarea și implementarea structurii de navigație a SAC-ARP, cu tehnici avansate, bazată pe ultrasunete și laser (Activitatea 2.7)

Navigația sistemului SAC-ARP destinată asistenței persoanelor cu dizabilități, are particularități specifice, și anume urmărirea unei traiectorii definite între un punct de plecare și un punct de destinație. Parcurgerea acestei traiectorii, de către sistemul Asistent Robotic Personal, trebuie să se facă în condiții de siguranță pentru pacient. Traiectoria determinată trebuie să fie parcursă fără coliziuni cu obstacolele fixe sau mobile și câteodată trecând prin spații înguste și evitând coliziunea cu pereții sau alte obstacole. Deplasarea SAC-ARP se face, fără cunoșterea a priori a mediului în care se deplasează, și de aceea am considerat deplasarea cu urmărirea pereților (cu păstrarea unei distanțe constante față de pereți) și completată cu algoritmul de deplasare prin spații înguste (spre exemplu o ușă). Algoritmul de deplasare cu păstrarea unei distanțe constante față de pereți se bazează pentru evaluarea distanței pe senzorul cu ultrasunete (sonar).

Algoritmul de detectare și trecere prin spații înguste

Senzorul laser este indispensabil pentru navigația prin spații înguste întrucât are capacitatea de a depista chiar și cele mai mici obstacole. Algoritmul folosit a fost optimizat pentru eliminarea diferitelor situații neprevăzute ce pot apărea pe parcurs.

Algoritmul de detectare a spațiilor înguste are la bază un algoritm de grupare adaptiv. Acesta utilizează informațiile obținute de la senzorul laser și este proiectat pentru a detecta o traiectorie optimă de traversare a unui spațiu îngust ținând cont de dimensiunile SAC-ARP.

Schema logică de funcționare a platformei mobile este descrisă în Fig.1a.1.



Figura.1a.1. Schema de sistemului de navigație a platformei mobile SAC-ARP

Algoritmul prezentat asigură faptul că numărul de unghiuri ale laserului implicate în detectarea punctului de frontieră, va acoperi o vecinătate egală cu lățimea SAC-ARP.

Laserul este dotat cu un număr de șase ferestre care baleiază, fiecare având o rază de acoperire de 30° . Unghiul ce acoperă suprafața de căutare a primei ferestre începe de la 0° și scanează o suprafață de până la 30° . După ce se face această primă scanare, fereastra se mută cu un grad și are loc o scanare în intervalul cuprins între 1° și 31° . Această procedură este repetată până când este acoperită suprafața de 180° .

În Fig.1a.2 este prezentat un exemplu de baleiere a ferestrelor sensorului laser într-un spațiu de traversat din care rezultă că, cu cât distanța până la spațiul liber este mai mică, cu atât rezultă o acuratețe mai ridicată a detecției spațiului.

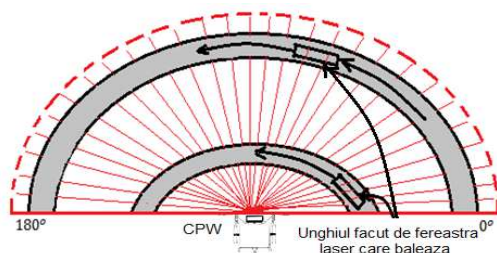


Figura 1a.2 Ferestrele sensorului laser

În Fig.1a.3 este reprezentat procesul prin care se stabilește o anumită traiectorie SAC ARP pentru a putea traversa spațiul îngust. În cazul în care este depistat un spațiu gol suficient de mare pentru a fi parcurs, comparativ cu dimensiunea SAC ARP, are loc o parcurgere a unei distanțe de 4m, cu un pas de 0.2m, a tuturor nodurilor existente în cele șase ferestre ale sensorului laser. Această parcurgere are rolul de a depista, în toate ferestrele laserului, toate punctele mediane.

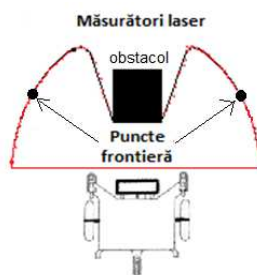


Figura 1a.3 Detectarea punctelor mediane

În Fig.1a.4 este reprezentată situația în care punctele de frontieră se află pe o traiectorie care nu este navigabilă pentru robotul mobil. În acest caz, se ia în considerare distanța pe care laserul o poate scana, iar cu ajutorul algoritmului se realizează o medie a punctelor întâlnite, stabilind punctele intermediare ce alcătuiesc traseul ce urmează a fi parcurs de către robotul mobil.

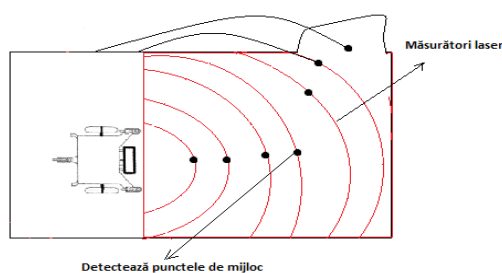


Figura 1a.4. Puncte mediane detectate pe un traseu necunoscut

Algoritmul pseudocod ce a fost implementat este dat mai jos


```

for dim.arc=0.5:0.2:4
  for nr.fereastră=1:6
    for puncte_fereastră=1:85
      dacă dim.arc<citire_laser
        atunci fereastră=goală
      altfel fereastră=obstacol
    END
  END
  Salvare date în matricea A
END
for dim.arc=0.5:0.2:4
  for nr.fereastră=1:6
    dacă fereastră=goală
      atunci calculează "medie" pt. toate ferestrele succesive
    altfel medie=0
  END
END
  Salvare valori medii/arc
  
```

Navigația SAC-ARP la distanță constantă față de pereți

Robotul utilizat pentru rezolvarea problemei de navigație la distanță constantă de pereții incintei este Pioneer 3DX, care are o greutate de 9kg și poate lucra cu maxim 17kg. Viteza maximă de deplasare este de 1,2m/s și cea de rotație este 300°/s.



Deși robotul poate avea până la maxim 16 sonare, pentru acest algoritm s-au folosit doar 8, fiecare sonar având o rază de 20 de grade, începând din partea stângă cu sonarul 0 și terminându-se cu sonarul 7 din partea dreaptă, care se văd în Fig.1a. 5

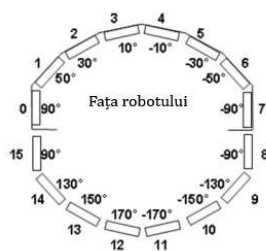


Figura 1a.5 Sonarele robotului

Algoritmul propus spre utilizare constă în faptul că robotul urmărește perețele cu ajutorul sonarelor. Sonarul trimite un sunet pentru a detecta perețele, apoi acesta așteaptă ecoul revenirii. Acesta trimite un semnal de tensiune la microcontroler, iar acesta calculează distanța până la perete. În acest algoritm au fost folosite sonarul 2 și sonarul 5 ale robotului.

Distanța calculată este împărțită în trei niveluri. Pentru partea stângă vom avea L1,L2,L3 iar pentru cea dreaptă R1,R2,R3, așa cum se poate vedea în Fig.6.1.a. Pentru cele trei niveluri vom lua următoarele valori L1=R1=1 metru, L2=R2=2 metri și L3=R3=3 metri.

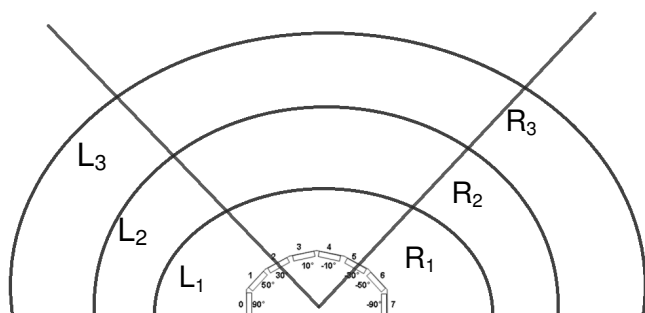


Figura 1a.6. Sonarele robotului

Pentru a planifica acțiunile robotului mobil, utilizăm tabelul prezentat în Tabelul 1a.1. Dacă nici un sonar nu detectează un obstacol atunci robotul se va deplasa la viteza maxima. Când unul (sau ambele) sonare detectează unul (sau mai multe) obstacole, nivelul L3 și / sau R3, robotul se va mișca la viteză medie. Când unul (sau ambele) sonare detectează unul (sau mai multe) obstacole, la nivelul L2 și / sau R2, atunci robotul se va mișca la viteză mica. Dacă un senzor (sau ambii) detectează unul (sau mai multe) obstacole, la nivelul L1 și / sau R1, atunci robotul se va mișca la stânga sau la dreapta, în funcție de poziția obstacolelor.

L ₃	L ₂	L ₁	R ₃	R ₂	R ₁	
0	0	0	0	0	0	Mișcare foarte rapidă
0	1	0	0	0	0	Mișcare rapida
0	1	0	1	0	0	Mișcare inceata
0	1	0	1	0	1	Întoarcere 25 ° la stânga
1	0	0	0	0	0	Mișcare rapidă
1	0	1	0	0	0	Mișcare înceată
1	0	1	0	1	0	Întoarcere 45 ° la stânga
1	1	0	0	0	0	Mișcare rapida
1	1	1	0	0	0	Mișcare înceată
1	1	1	0	1	0	Întoarcere 45 ° la stânga
1	1	0	1	0	0	Mișcare inceata
1	1	0	1	0	1	Întoarcere 25 ° la stânga
1	1	1	1	0	0	Mișcare înceată
1	1	1	1	0	1	Întoarcere 25 ° la stânga
1	1	1	1	1	0	Întoarcere 25 ° la stânga
1	1	1	1	1	1	Întoarcere 25 ° la stânga

Tabel 1a.1. Comportamentul robotului, în funcție de obstacole și poziția peretelui

Simularea acestui algoritm s-a făcut utilizând Aria, în Mobile Sim, utilizând două hărți diferite. Prima hartă a fost utilizată pentru verificarea corectitudinii urmăririi peretelui, și rezultatul este prezentat în Fig. 1a.7.

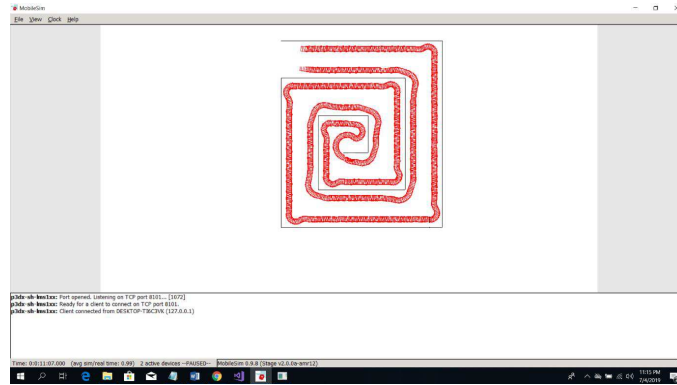


Figura 1a.7. Verificarea corectitudinii urmării traseului

A doua etapă de validare a algoritmului a avut ca obiectiv deplasarea cu păstrarea distanței și evitarea obstacolelor. În această etapă a fost simulată deplasarea robotului la etajul 4 al clădirii Facultății Automatică, calculatoare, Inginerie Electrică și Electronică, iar rezultatul este prezentat în Fig. 1a.8.

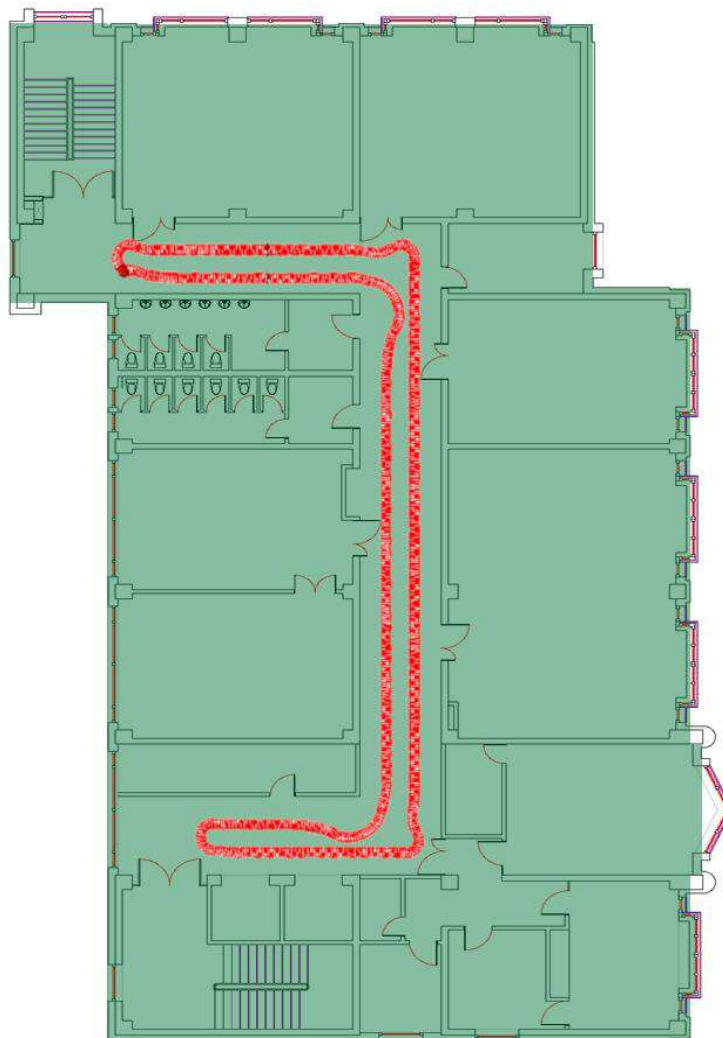


Figura 1a.8. Deplasarea SAC-ARP cu algoritmul de urmărire a peretilor și evitarea obstacolelor

Activitatea 2.7 -Proiectarea și implementare structurii de navigație a SAC-ARP, cu tehnici avansate, bazată pe ultrasunete și laser a fost realizată în proporție de 100%.

Rezultatul acestei etape este Structura de navigație pentru SAC-ARP bazată pe ultrasunete și laser;

1.b -Proiectarea și implementare structurii de navigație a SAC-VAM, cu tehnici avansate, structura bazată pe ultrasunete și laser

Algoritmul reactiv “bubble rebound”, a fost utilizat pentru evitarea obstacolelor. Algoritmul definește o bulă de sensibilitate în jurul robotului care este ajustată în funcție de viteza de deplasare a acestuia. Odată definită bula, se verifică dacă un obstacol a pătruns în interior. Dacă este detectat un obstacol în interiorul bulei, se generează o traiectorie de ocolire, dată de densitatea minimă de obstacole, până când obstacolul a fost evitat sau este detectat un nou obstacol.

Algoritmul include cele 3 faze de conducere (toate bazate pe conducere utilizând controllere Sliding Mode Control) SMC în urmărirea următoarelor traiectorii:

- impusă pentru destinația finală;
- de ocolire a obstacolului;
- reînscrisere pe traiectoria impusă.

În Fig.1.b.1 este prezentată schema bloc a algoritmului pentru evitarea de obstacole.

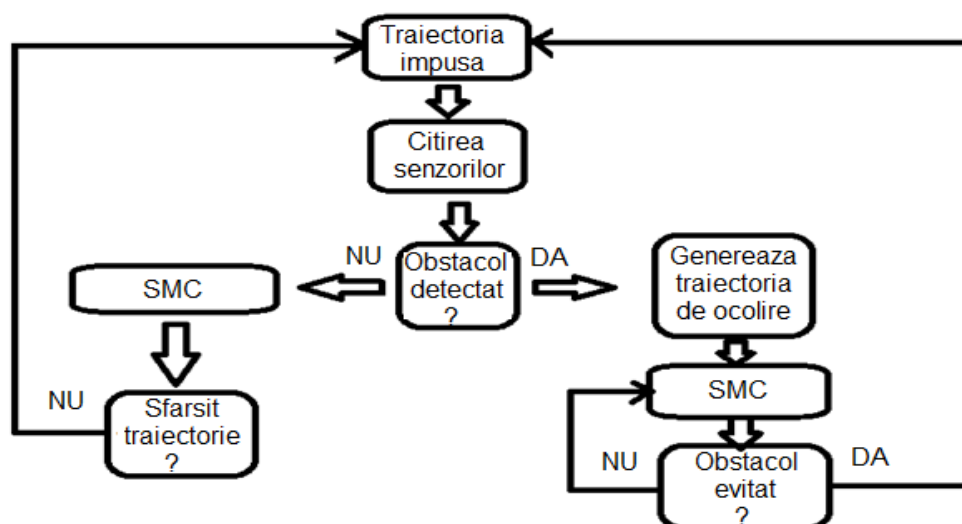


Fig.1b.1. Schema bloc a algoritmului pentru evitarea de obstacole

Navigație cu evitare de obstacole utilizând ultrasunete

Bula de sensibilitate de culoare gri (Fig.1b.2), pentru robotul PowerBot, depinde de viteza de deplasare a robotului și permite o detectare bună a obstacolelor. Componentele limită pentru bula de sensibilitate $Boundary = [b_1 \ b_2 \dots b_8]$ se calculează folosind:

$$b_i = k_i \cdot v \cdot T_s \quad (1.b.1)$$

unde: i - numărul de citiri; b_i - componentă a bulei de sensibilitate; k_i - coeficientul de siguranță; v - viteza robotului; T_s - eșantionul de timp.

Un obstacol este detectat atunci când distanța măsurată de către sonare, până la obstacol, este mai mică decât bula de sensibilitate.

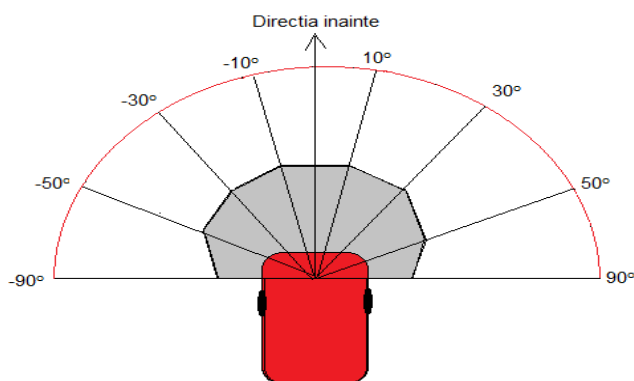


Figura 1.b.2. Zona de detecție a sonarelor și a bulei de sensibilitate

Se poate observa în Fig.1.b.3 că pe traiectoria dorită (linia neagră) se află un obstacol și se dorește găsirea unui punct cu proprietatea ca robotul să poată ocoli obstacolul, adică să se afle pe traiectoria de ocolire (linia albastră). Cunoscându-se lățimea robotului se verifică dacă sonarele detectează un alt obstacol apropiat în direcția de ocolire aleasă.

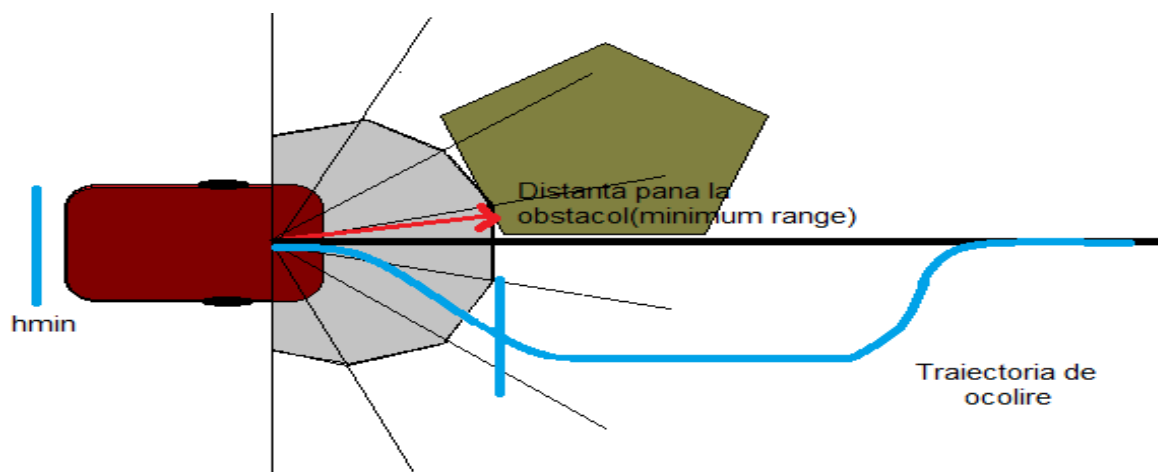


Figura 1.b.3. Traiectoria de ocolire pentru evitarea obstacolului

Navigație cu evitare de obstacole utilizând laser

Ideea principală a acestui algoritm, pentru robotul PowerBot, este urmărirea unei traiectorii impuse cu abateri minore în cazul apariției unui obstacol și revenirea la traiectoria impusă imediat după ce obstacolul a fost depășit.

Obstacolele sunt detectate cu ajutorul laserului Hokuyo URG-04LX-UG01, dispus frontal și acoperă o zonă de 240° , permițând detectarea oricărui obstacol care ar putea bloca navigarea. Se va folosi o suprafață de 180° . În Fig 1.b.4 se poate vedea cum este considerată împărțirea în sectoare a zonei de detecție a laserului.

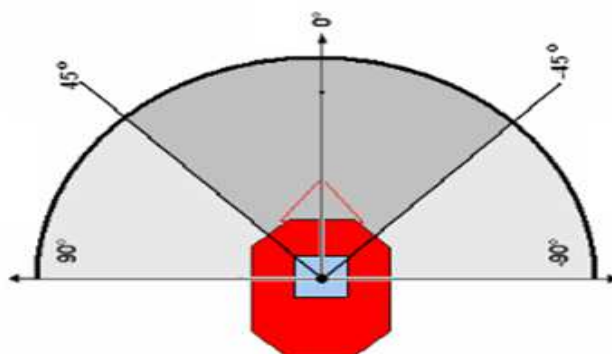


Figura 1.b.4. Zona de detecție a laserului

În Fig.1.b.5 se observă că pe traiectoria impusă (linia galbenă), se află un obstacol și se dorește găsirea unui punct cu proprietatea ca robotul să poată ocoli obstacolul, adică traiectoria de ocolire (linia albastră). Cunoscându-se lățimea robotului, se verifică dacă sonarele detectează un alt obstacol apropiat în direcția de ocolire aleasă.

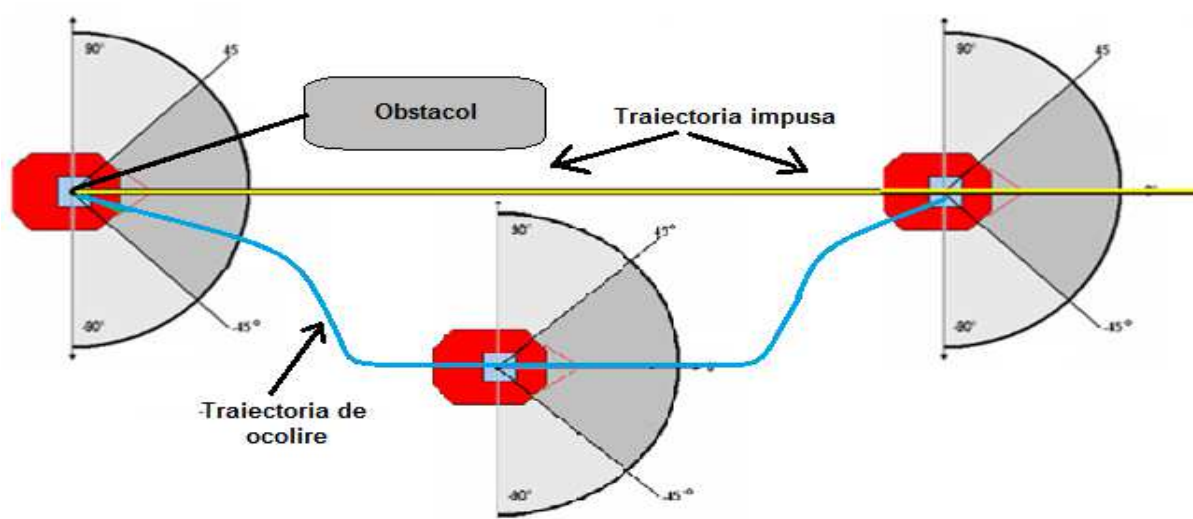


Figura 1.b.5. Traiectoria de evitare a obstacolului

Au fost realizate două experimente în care traiectoria impusă este liniară. Această traiectorie este în primul caz blocată de un singur obstacol, Fig.1.b.6, iar în al doilea caz, traiectoria este blocată de două obstacole, Fig.1.b.7. WMR trebuie să evite obstacolele, care au aceeași dimensiune ca robotul și să se reînscrisă pe traiectoria impusă.

Datele din urma simulării în bucla închisă obținute în MobilSim au fost introduse în Matlab pentru reprezentare grafică, Fig.1.b.8, în care traiectoria impusă este de culoare roșie și traiectoria robotului mobil obținută în simulare este de culoare albastră.

În Fig.1.b.9 este prezentată o hartă a mediului în care sunt prezente două obstacole, unul pe partea stângă și unul pe partea dreaptă, creată cu ajutorul Mapper3Basic și încărcată în MobileSim.

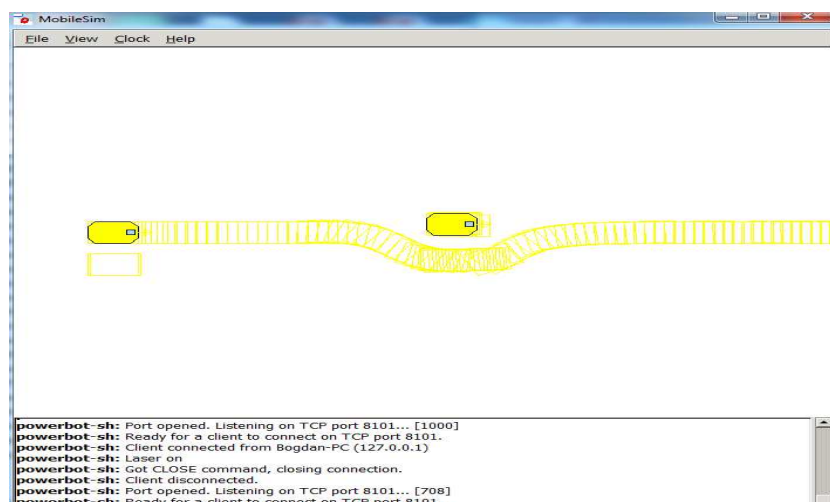


Figura 1.b.6. Evitarea unui singur obstacol în MobileSim

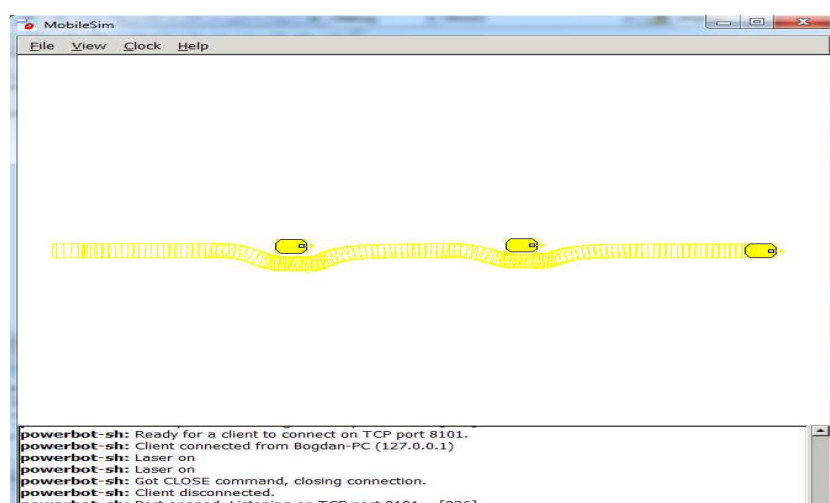


Figura 1.b.7 Evitarea a două obstacole în MobileSim

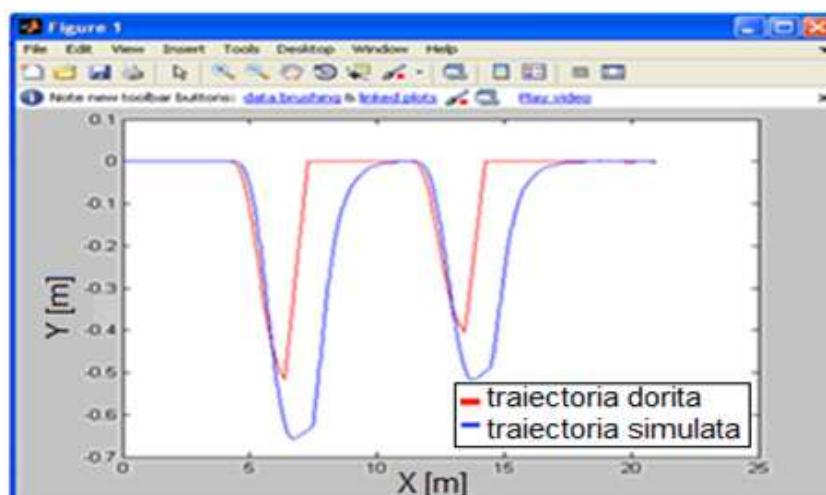


Figura 1.b.8. Comanda calculată și traiectoria robotului mobil în simulare

În cadrul experimentului în timp real cu WMR PowerBot se dorește evitarea unui obstacol situat la o distanță de 2.5 metri. Dimensiunile obstacolului sunt: 40 cm lațime și 50 cm lungime. Evitarea obstacolului se face pe partea stângă, după cum se vede în Fig.1.b.10. Rezultatele experimentului au fost introduse în Matlab pentru reprezentare grafică și sunt prezentate în Fig.1.b.11.

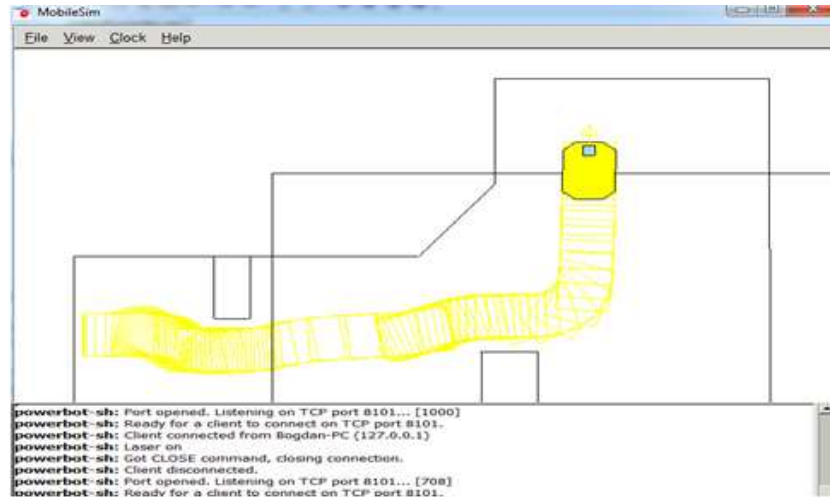


Figura 1.b.9 Evitare pe partea stângă și partea dreaptă în MobileSim



Figura 1.b.10 Evitare obstacol în timp real WMR PowerBot

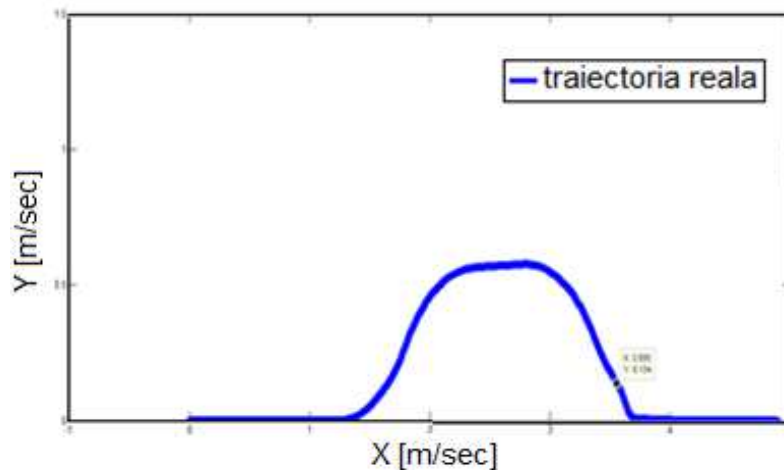


Figura 1.b.11. Traectoria în timp real a WMR PowerBot când întâlnește un obstacol

Activitatea 2.8 -Proiectarea și implementarea structurii de navigație a SAC-VAM, cu tehnici avansate, structură bazată pe ultrasunete și laser.

Diseminarea rezultatelor

Livrabilele: structura de navigație, propusă, bazată pe ultrasunete și laser a fost simulată și implementată în timp real. Rezultatetele obținute, justifică îndeplinirea obiectivului în proporție de 100%.

Diseminare rezultate:

1. F. Dragomir, E. Minca, O. Dragomir, A. Filipescu, “Modelling and Control of Mechatronics Lines Served by Collaborative Complex Autonomous Systems”, *Sensors Journal*, **2019**, vol.19, Issue 15, 3266; <https://doi.org/10.3390/s19153266>, IF 3.302 (Q1)
2. A. Filipescu, E. Minca, A. Filipescu jr, „Mechatronics Manufacturing Line with Integrated Autonomous Robots and Visual Servoing Systems”, 9th IEEE International Conference on Cybernetics and Intelligent Systems, and Robotics, Automation and Mechatronics (CIS-RAM 2019), November 18-20, 2019, Bangkok, Thailand
3. Adrian Filipescu, Adriana Filipescu and Eugenia Minca, “Assisted Technology of a Mechatronics Line with Integrated Robotic and Visual ServoingS ystems”, The 7th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING, Galati, Romania from 18th to 20th October 2019
4. Adrian Filipescu, Adriana Filipescu, Silviu Filipescu, Eugenia Minca - Technology on a Mechatronics Line Assisted by Autonomous Robots and Visual Servoing Systems, The 7th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING, Galati, Romania from 18th to 20th October 2019
5. Justin Aurelian Braharu, Razvan Solea - Trajectory-Tracking First Order Sliding-Mode Control of a WMR, ISEE The 6th International Symposium on Electrical and Electronics Engineering
6. Dan Ionescu. Trajectory - Tracking Cascade Control of a Nonholonomic WMR based on Kinematic and Dynamic Model, The 7th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING, Galati, Romania from 18th to 20th October 2019

Obiectivul 2

Activitatea 2.9 - Proiectarea și implementarea structurii de conducere pentru poziționare precisă a manipuloarelor care echipează SAC-ARP și SAC-VAM, bazată pe sisteme servoing vizuale mobile

Structura de conducere pentru poziționarea precisă a manipuloarelor, bazată pe sisteme servoing vizuale mobile este proiectată pentru o linie de prelucrare flexibilă Festo MPS-200 ce conține și o stație de verificare a calității pieselor astfel încât piesele care nu au defecte iremediabile să poată să fie reprelucrate. Pentru reprelucrare, piesele sunt aduce la prima stație de prelucrare, de către un robot Pioneer P3-DX echipat cu un manipulator robotic Cyton Gamma 1500. Preluarea piesei defecte se bazează pe un sistem Servoing Visual (SV) care lucrează împreună cu manipulatorul robotic Cyton Gamma 1500. Sensorul pentru sistemul Servoing Visual este o cameră video utilizată pentru poziționarea manipulatorului astfel încât să apuce piesa cu precizie.

Sisteme SV integrate în liniile de fabricație pentru conducerea sistemelor robotice

Tipuri de Sisteme Servoing Visual (SV)

Utilizând diferite ramuri din domeniile adiacente precum teoria sistemelor, robotică, vedere artificială, sistemele *Servoing Visual* –SV oferă o nouă etapă în domeniul conducerii roboților. Având ca punct de plecare extragerea trăsăturilor dintr-o imagine, sistemele SV

dictează direcția de mișcare a robotului mobil sau a manipulatorului robotic, în funcție de rezultatele procesării de imagine.

Pentru închiderea buclei de reacție, este nevoie de trăsături vizuale cu proprietăți bine definite cum ar fi: stabilitate, robustețe și acuratețe, astfel încât calitatea rezultatelor să fie una ridicată. Această calitate va duce, în final, la capacitatea de elaborare a unor legi de conducere corespunzătoare pentru aplicația în lucru.

În literatură, se conturează principalele tipuri de trăsături care pot fi utilizate în vederea asigurării eficienței task-urilor, în concordanță cu evoluția mediului exterior, văzută prin intermediul camerei video. Se definesc astfel: trăsături de tip puncte de interes (centroizi, colțuri etc.), trăsături de tip momente ale imaginii, suprafețele regiunilor proiectate, lungimile muchiilor etc. Dintre acestea, cele mai utilizate pentru implementarea legilor de conducere sunt cele de tip punct de interes și cele de tip momente ale imaginii.

Alegerea trăsăturilor de tip punct de interes, fie ele uni-dimensionale (muchie) sau bi-dimensionale (colț), datorită cunoașterii coordonatelor, are ca avantaj ușurința în calcularea matricei de interacțiune. Cu toate acestea, utilizarea acestor tipuri de trăsături nu conferă stabilitate în aplicațiile de SV, mai ales datorită faptului că nu sunt invariante la transformări ale obiectului urmărit. Acest dezavantaj se elimină prin utilizarea celui de-al doilea tip de trăsături, și anume, momente ale imaginii. În literatura se prezintă metoda de calcul pentru matricea de interacțiune în cazul folosirii trăsăturilor de tip momente ale imaginii, matrice care are o complexitate mai mare decât în cazul trăsăturilor punctiforme.

În funcție de locul de montaj al camerei video, se disting două arhitecturi de lucru pentru sistemele SV. Senzorul vizual montat în poziție fixă în spațiul de lucru definește arhitectura **eye-to-hand** (Fig. 2.1 a), iar montajul camerei pe ultima articulație a manipulatorului robotic definește configurația **eye-in-hand** (Fig. 2.1 b). Fiecare dintre aceste două tipuri de arhitecturi prezintă avantaje și dezavantaje, și în funcție de acestea și de aplicația dorită se poate face alegerea configurației.

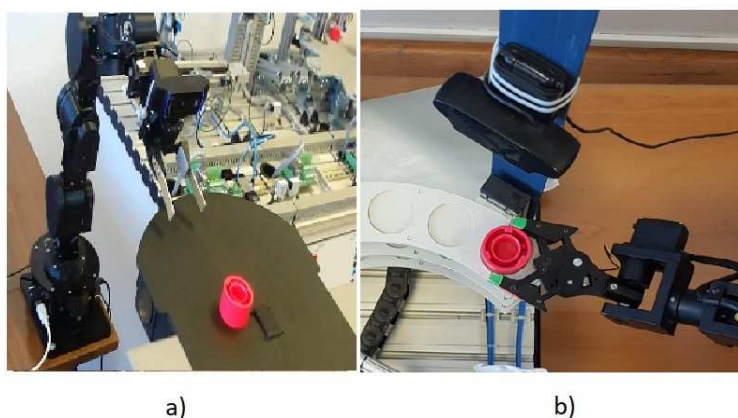


Figura 2.1. - Tipuri de arhitecturi: a) Configurația eye-in-hand b) Configurația eye-to-hand

O altă clasificare a sistemelor SV se poate face în funcție de informațiile vizuale utilizate de structura de reglare. Astfel se disting:

- **Sisteme SV bazate pe poziții:** se bazează pe utilizarea imaginilor 3D despre scena de lucru; camerei video i se atașează un sistem de coordonate și poate estima poziția și direcția obiectului în raport cu acest sistem.

Utilizarea acestei arhitecturi presupune determinarea unei erori ce va fi reprezentată în sistemul cartezian, fiind necesar un model al obiectului, dar și calibrarea precisă a camerei.

Eroarea dintre poziția curentă și cea dorită este definită în spațiul cartezian al robotului. O diagramă bloc a arhitecturii bazate pe poziție este prezentată în Figura 1.3, unde

diferența dintre referința v_c^* și rezultatul v_c reprezintă eroarea, care este apoi folosită în regulatorul bazat pe poziție pentru a calcula viteza robotului.

Utilizarea unei asemenea structuri are ca principal avantaj controlul în coordonate carteziene a traiectoriei robotului și implicit a camerei. Astfel planificarea traiectoriei poate fi mai ușor realizată, dar în cazul configurației eye-in-hand, când camera se află poziționată pe efectorul manipulatorului, caracteristicile imaginii pentru poziția estimată pot fi în afara imaginii, datorită lipsei restricțiilor în legea de conducere în ceea ce privește coordonatele imaginii plane.

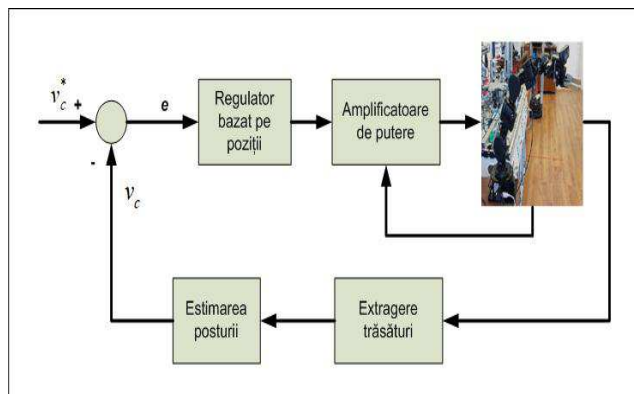


Figura 2.2. - Diagrama bloc pentru arhitectura bazată pe poziție

Un dezavantaj al acestei structuri îl reprezintă faptul că poziția curentă și poziția dorită ale camerei nu vor fi corect estimate. Pentru remedierea acestui neajuns se poate recurge la soluția de a reproiecta sistemul SV ca un sistem end point closed loop, unde ambele ținte și efectorul sunt observate de-a lungul executării aplicației.

Datorită necesității cunoașterii poziției obiectului și a modelului robotului, și pentru că trebuie estimată viteza robotului și o calibrare foarte bună a camerei, o astfel de structură bazată pe poziție nu este uzual adoptată în aplicațiile SV.

Datorită caracteristicilor și stabilității, s-a constatat faptul că arhitectura bazată pe poziție este foarte limitată în ceea ce privește robustețea și modelarea matematică în vederea implementării în timp real.

- **Sisteme SV bazate pe imagini:** au la bază utilizarea imaginilor 2D în vederea estimării mișcării dorite a robotului. Principalul aspect în utilizarea acestei arhitecturi îl reprezintă minimizarea erorii dintre trăsăturile imaginii dorite, raportate la trăsăturile imaginii curente.

În lipsa unui model al obiectului, se va utiliza un semnal de eroare în planul imaginii. În funcție de această eroare se vor defini comenzile către robot.

Strategia de conducere a unor sisteme bazate pe imagini, bazată pe imagini 2D, reprezintă metoda de minimizare a erorii dintre parametrii referință și cei extrași din imagine. Fig. 2.3 ilustrează diagrama bloc a unei arhitecturi bazate pe imagini.

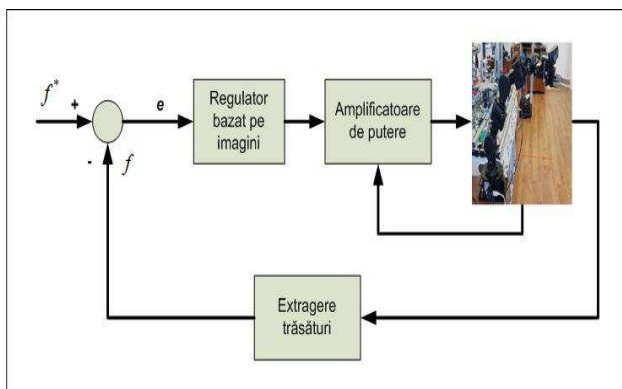


Figura 2.3. - Diagrama bloc pentru arhitectura bazată pe imagini

Arhitectura bazată pe imagini are la bază calcularea matricei Jacobian sau a matricei de interacțiune. În acest caz maparea funcției eroare se va face direct în planul imaginii 2D.

Fig. 2.4 prezintă un exemplu al arhitecturii bazate pe imagini. În figură este utilizată configurația eye-to-hand, camera video fiind fixă, iar obiectul în mișcare. Generarea vectorului f aferent trăsăturilor curente se face utilizând un număr de trăsături punctiforme ale obiectului. Astfel se poate defini funcția eroare, o funcție a distanței dintre trăsăturile curente și trăsăturile dorite. Conducerea mișcării robotului se poate face astfel utilizând matricea de interacțiune și funcția eroare calculată la fiecare cadru.

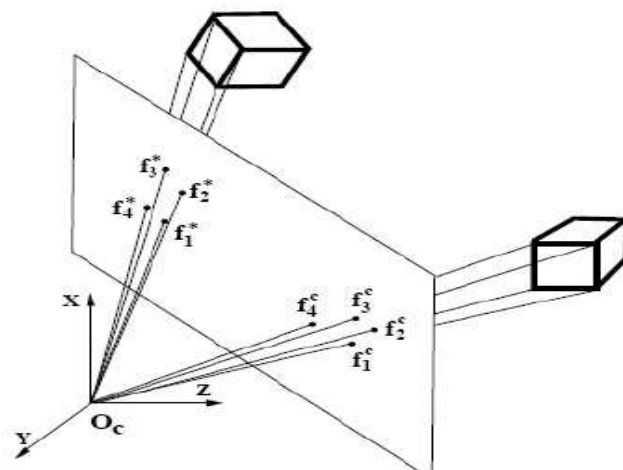


Figura 2.4. - Exemplu al arhitecturii bazată pe imagini

Atât în cazul arhitecturii bazate pe imagini, cât și în cel al arhitecturii bazate pe poziție, se utilizează trăsături vizuale în vederea caracterizării obiectelor din plan. În cazul arhitecturii bazate pe poziție sunt folosite proprietățile în vederea corelării cu spațiul 3D al planului, iar arhitectura bazată pe imagini, presupune formarea matricei Jacobian, care reprezintă maparea între vitezele obiectelor proiectate în planul imaginii și mediul de lucru al robotului. Proiectarea regulatorului devine dificilă mai ales datorită unor singularități ale matricei Jacobian și datorită faptului că un control direct asupra vitezelor robotului în spațiul 3D este aproape imposibil.

Arhitectura bazată pe imagine, presupune reducerea erorii dintre un set de trăsături curente și setul de trăsături dorite, definindu-se o funcție eroare, iar legea de conducere se va determina astfel încât mișcarea robotului va fi mapată de această eroare. În funcție de tipul arhitecturii de conducere folosite, un obiect poate fi caracterizat prin poziția sa sau pe baza trăsăturilor vizuale extrase din imagine.

Proiectarea și implementarea structurii de conducere pentru poziționare precisă a manipuloarelor care echipează SAC-ARP și SAC-VAM, bazată pe sisteme servoing vizuale mobile

Prelucrări preliminare ale imaginii

O cameră video furnizează semnal video ce este recepționat de calculatorul de proces sub forma unei matrici bidimensionale care va furniza informații despre fiecare pixel care face parte din imagine. Aceste informații se referă la luminanță și culoare.

Utilizând reprezentare sub formă de matrice bidimensională, semnalul video este convertit în semnal numeric bidimensional (2D), în care luminanța va fi reprezentată funcție de două coordonate spațiale. În cazul în care imaginea este color, semnalul video rezultat va fi o combinație de 3 semnale bidimensionale. Semnalele color pot fi reprezentate fie prin varianta RGB, care se referă la utilizarea valorii intensității celor 3 culori de bază componente (roșu, verde și albastru) fie prin varianta YUV care se referă la utilizarea valorii luminanței și a două diferențe de culoare (la fel ca în standardul PAL).

Filtrarea pentru eliminarea zgomotelor de tip impuls se va realiza în faza preliminară, deoarece este necesară pentru oricare din prelucrările ulterioare.

Filtrarea mediană este cea mai uzuală metodă de filtrare. Această operație neliniară este special concepută pentru eliminarea zgomotelor de tip impuls ce pot apărea pe o imagine. Se va folosi ideea de mediană a unei secvențe de N pixeli, cu N obligatoriu impar care este valoarea mai mare sau cel puțin egală cu $\frac{N-1}{2}$ valori ale secvenței și mai mică sau cel mult egală cu celelalte $\frac{N-1}{2}$ valori[35]. Pentru explicitarea utilității acestei noțiuni, se presupune, pentru început, un semnal eșantionat unidimensional, ca în Fig. 2.5.

Algoritmul de filtrare se va aplica pentru fiecare pixel și se va crea o secvență de lungime N pixeli care este centrată în pixelul curent, iar mediana secvenței selectate va da valoarea pixelului corespunzător al semnalului filtrat. Principala proprietate a acestei metode este aceea că nu va altera semnalele de tip treaptă sau rampă, dar elimină impulsurile părăsite de lungime mai mică de $\frac{N-1}{2}$. Lungimea N a ferestrei se poate alege funcție de durata impulsurilor ce se dorește a fi eliminate.



Figura 2.5. - Filtrare mediană cu secvență de lungime 3

Trăsături vizuale utilizate în sistemele SV

Senzorul vizual furnizează mărimile de intrare pentru sistemul SV. Senzorul vizual poate fi o cameră uzuală, o cameră cu ultrasunete sau o cameră omnidirecțională.

O primă clasificare a trăsăturilor vizuale se face după tipul lor, și anume: trăsături geometrice, fotometrice sau de tip câmp de viteze. Primul pas în definirea unui sistem SV îl reprezintă alegerea tipurilor de trăsăturilor vizuale, întrucât acestea influențează în mod direct capacitatea de control și performanța unui sistem SV. Un al doilea pas, strâns legat de proprietățile fizice ale robotului, îl reprezintă alegerea numărului de trăsături vizuale utilizate în conducerea sistemului. Acesta depinde de numărul de grade de libertate al sistemului robotic.

Clasificarea, în funcție de rolul acestora în planul de lucru, duce la existența a două tipuri de trăsături geometrice: de tip 2D – cu rol de a descrie planul de lucru și componentele acestuia și de tip 3D- cu rol de a corela cele două sisteme de referință implicate în proces, al robotului și al țintei. Există de asemenea posibilitatea combinării celor două tipuri de trăsături, caz în care va rezulta o arhitectură de conducere hibridă.

Definirea trăsăturilor tip momente ale imaginii

Datorită avantajelor oferite de trăsăturile vizuale de tip momente ale imaginii, acestea sunt foarte răspândite în aplicații de recunoașterea formelor, clasificare a obiectelor etc. și utilizate în vederea artificială și robotică. Utilizarea trăsăturilor de tip momente ale imaginii se bazează pe definirea vectorului de trăsături vizuale.

Se definește o imagine $I(x, y)$ ca fiind o densitate de probabilitate a unei variabile aleatoare 2D și se convine că valorile de 0 reprezintă fundalul, iar valorile diferite de 0 reprezintă obiecte. Se pot defini momentele m_{ij} de ordin $i + j$ de forma:

$$m_{ij} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x^i y^j I(x, y) dx dy \quad (2.1)$$

Particularizând, în continuare se pot obține diferite proprietăți ale obiectului selectat, cum ar fi:

Pentru $i = j = 0$, corespunzând momentului de ordin 0 m_{00} se obține aria obiectului;

Pentru $i = 1$ și $j = 0$ sau $i = 0$ și $j = 1$, corespunzând momentelor de ordin 1 se obține definirea centrului de greutate aferent obiectului (x_g, y_g) , unde:

$$x_g = \frac{m_{10}}{m_{00}} \text{ și } y_g = \frac{m_{01}}{m_{00}} \quad (2.2)$$

În procesarea imaginilor obiectul se definește ca un set de pixeli de coordonate (x, y) pentru care $I(x, y) = 1$. Astfel se pot defini momentele 2D m_{ij} de ordin $(i + j)$ ca fiind:

$$m_{ij} = \iint_O x^i y^j dx dy \quad (2.3)$$

Modelarea sistemului SV

Un sistem SV are la bază următoarele componente: un ansamblu robot manipulator, un senzor vizual și un regulator. Modelarea unui sistem de SV se va reduce la minimizarea erorii apărute între trăsăturile reale ale sistemului, extrase de senzorul vizual și trăsăturile dorite ale cadrului de lucru. Fig. 2.6 ilustrează structura unui sistem SV.

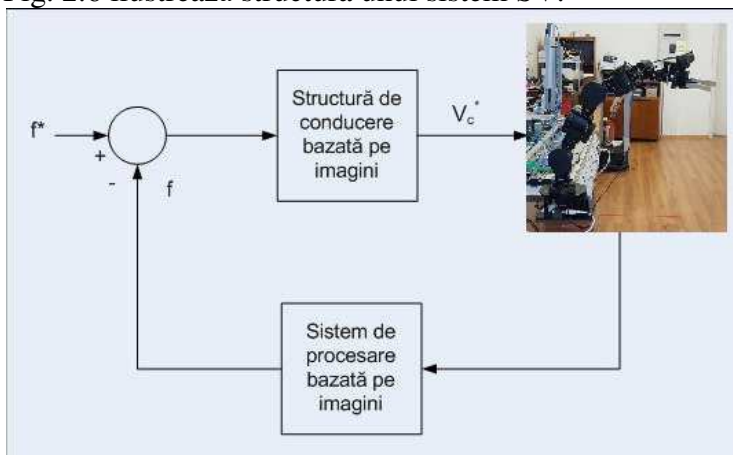


Figura 2.6. – Structura de conducere a unui sistem robotic utilizând un sistem SV

Modelarea în buclă deschisă a sistemului conduce la necesitatea analizării separate atât a structurii robotice, cât și a senzorului vizual. Semnalul v_c^* asociat ieșirii regulatorului reprezintă comanda pentru ansamblul robotic și reprezintă viteza de referință a camerei având structura $v_c^* = (v^*, \omega^*)^T$, unde: $v^* = [v_x^*, v_y^*, v_z^*]^T$ și $\omega^* = [\omega_x^*, \omega_y^*, \omega_z^*]^T$ definesc componentele liniare și unghiulare ale vitezei.

Considerând vectorul $s = [s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6]^T$ ca fiind vectorul de 6 dimensiuni ce definește poziția efectorului robotului în sistemul Cartezian de coordonate și $q_i, i = \overline{1,6}$ reprezentând starea articulațiilor robotului, se poate defini matricea Jacobian a robotului ca fiind:

$$J_r = \begin{bmatrix} \frac{\partial s_1}{\partial q_1} & \dots & \frac{\partial s_1}{\partial q_6} \\ \frac{\partial s_2}{\partial q_1} & \dots & \frac{\partial s_2}{\partial q_6} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial s_6}{\partial q_1} & \dots & \frac{\partial s_6}{\partial q_6} \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

În vederea aplicării semnalului v_c^* articulațiilor manipulatorului robotic, se va folosi matricea inversă a Jacobianului robotului J_r^{-1} , pentru a transpune semnalul din spațiul Cartezian în spațiul articulațiilor robotului. În cazul în care matricea Jacobian nu este pătratică se recurge la calcularea pseudo-inversei matricei Jacobian, de forma: $J_r^+ = J_r^T (J_r J_r^T)^{-1}$.

Matricea de interacțiune pentru momente ale imaginii

Matricea de interacțiune reprezintă unealta de analiză matematică specifică ce este utilizată în generarea legii de conducere a sistemelor SV. Matricea de interacțiune bine aleasă pentru a obține o comportare optimă a sistemului SV trebuie să fie nesingulară. De asemenea, în vederea decuplării componentelor vitezei articulațiilor robotului, matricea de interacțiune va trebui să fie diagonală.

Având în vedere definirea momentelor m_{ij} de ordin $(i + j)$ descrisă anterior, se poate scrie forma analitică a variației în timp \dot{m}_{ij} , în funcție de viteza camerei.

$$\dot{m}_{ij} = L_{m_{ij}} v_c \quad (2.5)$$

Utilizând teorema lui Green și notând, $h(x, y) = x^i y^j I(x, y)$, va rezulta următoarea formă analitică a variației în timp a momentelor m_{ij} :

$$\dot{m}_{ij} = \iint_D \left[\frac{\partial h}{\partial x} \dot{x} + \frac{\partial h}{\partial y} \dot{y} + h(x, y) \left(\frac{\partial \dot{x}}{\partial x} + \frac{\partial \dot{y}}{\partial y} \right) \right] dx dy \quad (2.6)$$

Presupunem faptul că obiectul este planar și rezultă ecuația de ordin 1 care exprimă poziția obiectului raportată la sistemul de coordonate al camerei:

$$Z = \alpha X + \beta Y + Z_0 \quad (2.7)$$

unde Z_0 reprezintă distanța obiectului față de cameră.

În urma calculelor, rezultă forma matricii de interacțiune $L_{m_{ij}}$ pentru momentele m_{ij} de forma $L_{m_{ij}} = [m_{v_x}, m_{v_y}, m_{v_z}, m_{\omega_x}, m_{\omega_y}, m_{\omega_z}]$ și presupunând, pentru sistemul robotic un set de momente puncte ale imaginii de forma, $f = [x_n, y_n, a_n, \tau, \xi, \alpha]^T$ în, se deduce forma matricii de interacțiune corespunzătoare momentelor imaginii definite prin n puncte:

$$L_f = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & a_n e_{11} & -a_n(1 + e_{12}) & y_n \\ 0 & -1 & 0 & a_n(1 + e_{21}) & -a_n e_{11} & -x_n \\ 0 & 0 & -1 & -e_{31} & e_{32} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \tau_{\omega_x} & \tau_{\omega_y} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \xi_{\omega_x} & \xi_{\omega_y} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \alpha_{\omega_x} & \alpha_{\omega_y} & -1 \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

Legea de conducere proporțională pentru conducerea ansamblului robot mobil manipulator robotic

În literatura de specialitate s-au conturat mai multe tipuri de legi de conducere în vederea generării semnalului de comandă pentru roboți mobili. Deși multe din aceste legi conduc la rezultate bune, acestea au în vedere, în general, aplicații cu obiecte simple, ce se pot încadra în sfera formelor geometrice clasice. Din aceste considerente aplicațiile ce pot fi deservite prin abordarea cu aceste tipuri de trăsături sunt reduse.

În literatura de specialitate, abordarea problemei de conducere constă în a găsi ecuația care va minimiza eroarea dintre un vector al unor trăsături curente, definite anterior și vectorul trăsăturilor țintă.

Dacă alegem f , o mulțime de trăsături vizuale și starea la momentul t dintre cameră și spațiul de lucru ca fiind $r(t)$, se poate defini variația trăsăturilor $f(r(t))$ raportată la mișcarea relativă dintre senzorul vizual și spațiul de interes astfel:

$$\dot{f} = \frac{\partial f}{\partial r} \frac{dr}{dt} + \frac{\partial f}{\partial t} = L_f v_c + \frac{\partial f}{\partial t} \quad (2.9)$$

În cazul în care obiectul este static, variația trăsăturilor în raport cu mișcarea obiectului este 0, $\frac{\partial f}{\partial t} = 0$, iar ecuația (2.9) devine:

$$\dot{f} = L_f v_c \quad (2.10)$$

unde L_f este matricea de interacțiune din ecuația (2.8) iar v_c reprezintă viteza relativă dintre senzorul vizual și obiect.

Funcția eroare dintre vectorul trăsăturilor curente f și vectorul trăsăturilor țintă f^* se poate defini ca fiind:

$$e = f - f^* \quad (2.11)$$

Dacă nu se ține cont de dinamica manipulatorului robotului rezultă că $v_c = v_c^*$, unde v_c^* reprezintă semnalul de comandă pentru controller-ul manipulatorului robotului și ecuația (2.11) devine:

$$\dot{f} = L_f v_c^* \quad (2.12)$$

Astfel, din (2.11) și (2.12) rezultă ecuația dintre variația în timp a erorii și viteza relativă a camerei:

$$\dot{e} = L_f v_c^* \quad (2.13)$$

Pentru rezultate bune ale conducerii manipulatorului robotic se dorește ca variația erorii să fie negativ exponențial descrescătoare, de forma $\dot{e} = -\lambda e$ și rezultă $\dot{e} = L_f v_c^* = -\lambda e$, de unde:

$$v_c^* = -\lambda L_f^+ e \quad (2.14)$$

În literatura de specialitate, L_f^+ poartă denumirea de pseudoinversa matricii de interacțiune L_f și este definită de relația: $L_f^+ = (L_f^T L_f)^{-1} L_f^T$. Datorită necunoscutei în ceea ce privește distanțele pe axa Z dintre obiectele din spațiul de interes și senzorul vizual, această matrice nu se poate determina și se estimează, devenind \hat{L}_f^+ . Există mai multe tipuri de estimări posibile pentru pseudoinversa matricii de interacțiune. Dintre acestea, în [30] este aproximată cu pseudoinversa matricii de interacțiune a trăsăturilor țintă, $\hat{L}_f^+ = L_f^{*+}$, matrice care rămâne constantă în tot timpul algoritmului de control. O altă abordare este cea din [10] unde: $\hat{L}_f^+ = \frac{1}{2} (L_f + L_f^*)^+$ $L_f^+ = \frac{1}{2} (L_f + L_f^*)^+$. Utilizând această estimare, legea de reglare se va scrie sub forma:

$$v_c^* = -\frac{1}{2} \lambda (L_f + L_f^*)^+ e \quad (2.15)$$

Conducerea în timp real a liniei de prelucrare utilizând un sistem SV mobil

Pentru creșterea productivității liniei de Asamblare/ Dezasamblare, prin micșorarea timpului de transport și eficientizării utilizării resurselor disponibile. În scopul acesta în cadrul sistemului P/RML definit anterior s-au integrat, de asemenea, un robot PeopleBot, pentru transportul pieselor de prelucrat și un manipulator robotic Cyton Gamma 1500 pentru preluarea și reintroducerea pe linie a pieselor, în vederea re prelucrării.

În acest caz, conducerea în timp real al sistemului descris are la bază de asemenea conducerea procesului prin bucla de conducere aferentă automatelor programabile Siemens S7-300 cu procesoare 313C-2 DP, conducerea robotului mobil și a manipulatorului robotic și suplimentar, buclele de conducere pentru robotul PeopleBot și pentru manipulatorul Cyton. Acesta din urmă va fi controlat printr-un sistem SV mobil, având montat pe structura efectorului o cameră video de înaltă rezoluție.

La fel ca în cazul structurii descrise anterior, un PC de process va realize interfațarea tuturor buclelor de conducere, rezultând schema de principiu din figura 5.10. Astfel, prin utilizarea acelorași medii de programare, Microsoft Visual Studio si Matlab, se realizează conducerea în timp real a sistemului.

Pentru etapa de recuperare a pieselor se va utiliza același robot Pioneer P3-DX, conectat la PC printr-o comunicație wireless. Etapa de transport va fi deservită de robotul PeopleBot, nou integrat în proces și dispunând de același tip de comunicație, bazată pe protocolul TCP/IP și fiind condus, de asemenea, cu ajutorul SM. Pentru etapa de predare a piesei în vederea re procesării se va utilize manipulatorul Cyton, comandat printr-o comunicație USB 2.0. De această dată, cea de-a doua cameră, utilizată pentru predare piesei pe linia de procesare, va fi amplasată pe efectorul manipulatorului.

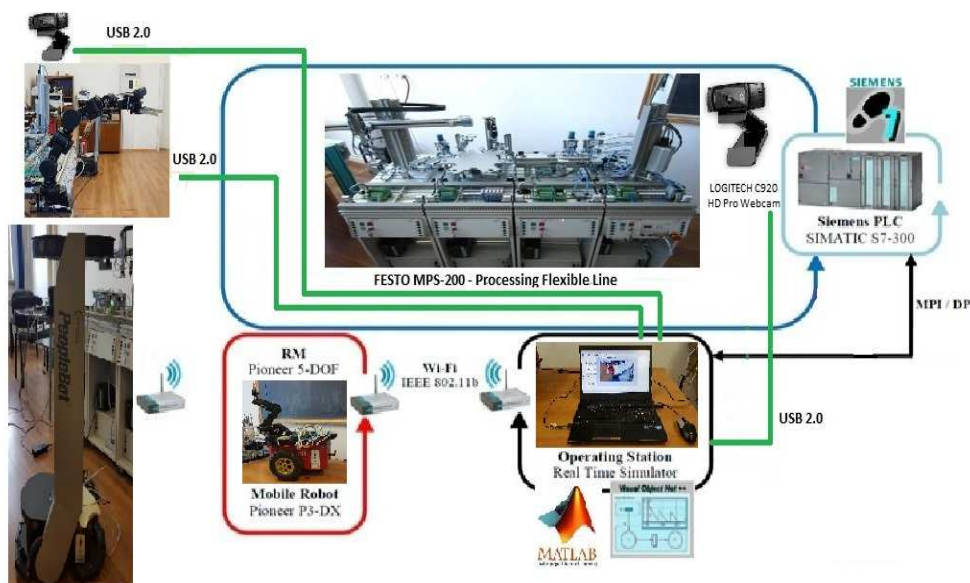


Figura 2.7. - Structura de conducere și comunicație a liniei de prelucrare deservită de 3 sisteme autonome și sisteme SV fixe și mobile.

Aplicația de sincronizare și conducere video pentru sistemul SV mobil

Pentru deservirea liniei P/RML Festo conform structurii prezentate în figura 5.10, în vederea utilizării și a unui sistem SV mobil a fost păstrată structura și dezvoltarea prezentată în prima etapă, aceea de recuperare a piesei de re procesat. Aceasta se va realiza cu ajutorul aceluiași robot Pioneer P3-DX echipat cu manipulator și utilizând sistemul SV fix

disponibil la capătul liniei de prelucrare. De asemenea se vor păstra toate convențiile declarate inițial, legate de culoarea și locul de depozitare al pieselor de reprocessat.

Noutățile din cadrul acestei noi structuri sunt reprezentate de utilizarea robotului PeopleBot pentru a realiza transportul pieselor și utilizarea manipulatorului Cyton Gamma 1500 pentru reintroducerea pe linia de prelucrare a pieselor de reprocessat (Anexa 3).

Avantajele acestei noi structuri se referă la îmbunătățirea timpilor de livrare ai pieselor de reprocessat, degrevarea robotului Pioneer de task-ul de transport și posibilitatea transportării mai multor piese în același timp. Conducerea robotului de transport PeopleBot se realizează utilizând, de asemenea, o buclă de tip sliding-mode.



Figura 2.8. - Robotul PeopleBot preluând piesa de reprocessat

Link	θ_i	L_i	d_i	α_i
0	$\theta_1 + \frac{\pi}{2}$	0	L_1	$\frac{\pi}{2}$
1	$\theta_2 + \frac{\pi}{2}$	L_2	0	$\frac{\pi}{2}$
2	$\theta_3 + \pi$	L_3	0	$\frac{\pi}{2}$
3	$\theta_4 + \pi$	$-L_4$	0	$\frac{\pi}{2}$
4	$\theta_5 + \pi$	L_5	0	$\frac{\pi}{2}$
5	$\theta_6 - \frac{\pi}{2}$	0	0	$-\frac{\pi}{2}$
6	θ_7	0	L_6	0

Figura 2.9. - Parametrii DH asociați manipulatorului Cyton Gamma 1500

În cazul manipulatorului robotic Cyton Gamma 1500, s-a pornit de asemenea de la specificațiile tehnice, concretizate în parametrii DH din figura 2.9.

Matricea Jacobian obținută în cazul acesta va fi de dimensiune 6x7, corespunzând cu numărul de grade de libertate al manipulatorului și va avea o structură de forma celei descrise în ecuația 2.16:

$$J_r = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial s_1} & \dots & \frac{\partial}{\partial s_1} \\ \frac{\partial}{\partial q_1} & & \frac{\partial}{\partial q_7} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial}{\partial s_6} & \dots & \frac{\partial}{\partial s_6} \\ \frac{\partial}{\partial q_1} & & \frac{\partial}{\partial q_7} \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

Conducerea manipulatorului Cyton se va realiza în concordanță cu comenzile furnizate de sistemul SV mobil în urma procesării imaginilor video furnizate de camera de înaltă rezoluție amplasată pe efectorul manipulatorului.

Utilizând cinematica inversă și legea de conducere definită în ecuația 2.12, pornind de la poziția curentă și poziția dorită a efectorului, sistemul SV transmite comenzi către articulațiile

robotului. Conducerea se realizează utilizând mediul de programare Microsoft Visual Studio, iar procesarea video utilizând mediul Matlab. Figura 2.10 prezintă interfața grafică implementată pentru conducerea și vizualizarea în timp real a status-ului recuperării pieselor de re prelucrat. De asemenea, în figurile 2.11 și 2.12 sunt prezentate evoluțiile în timp real ale vitezelor liniare și unghiulare ale gripper-ului manipulatorului Cyton în momentul returnării unei piese pentru re prelucrare.

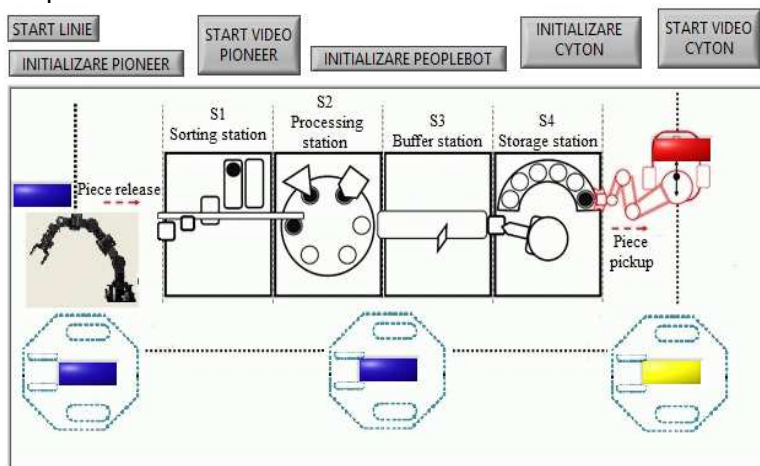


Figura 2.10. - Interfața grafică pentru vizualizarea și conducerea liniei de prelucrare deservită de 2 roboți și manipulator fix

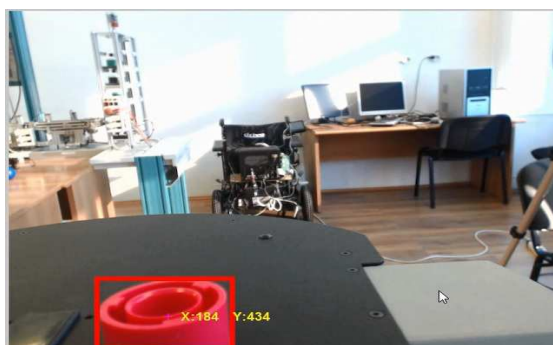


Figura 2.11a - Inițializare manipulator pentru recuperare piesă utilizând SV mobil



Figura 2.11b- Poziționare manipulator pentru recuperare piesă utilizând SV mobil

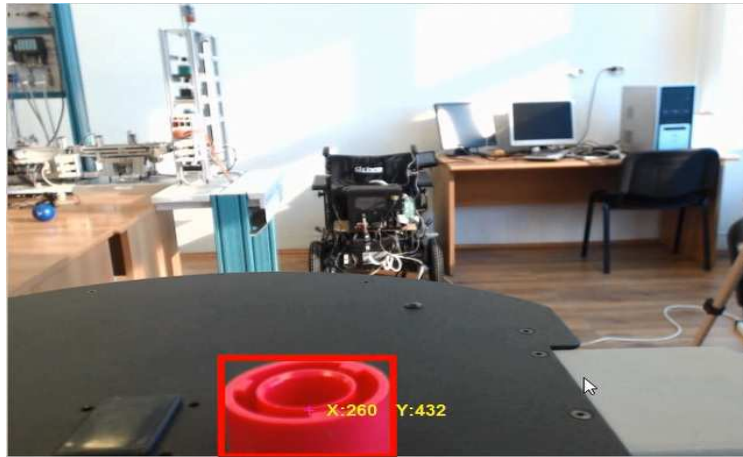


Figura 2.11c - Recuperare piesă utilizând SV mobil

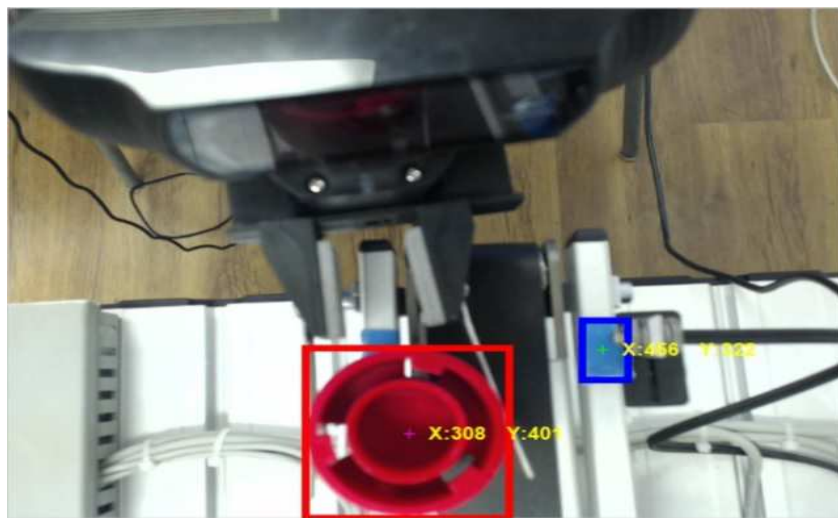


Figura 2.12.a. - Inițializare pentru returnare piesă de reprocessat



Figura 2.12.b. - Poziționare pentru returnare piesă de reprocessat

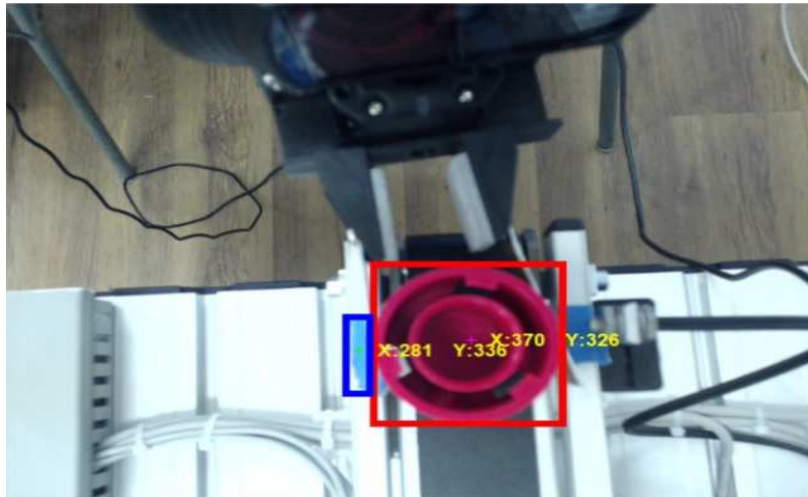


Figura 2.12.c. - Returnare piesă în stația de prelucrare pentru reprocesare

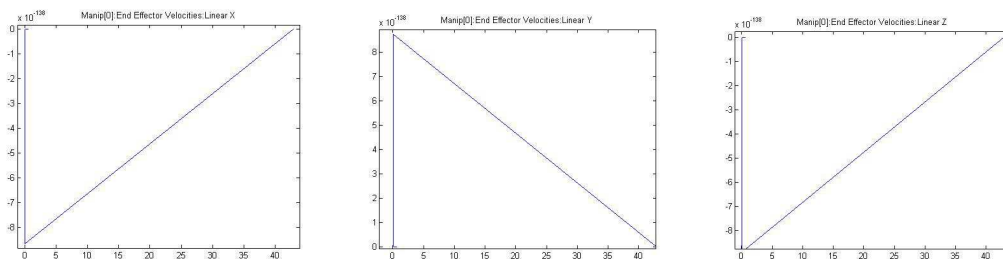


Figura 2.13. - Vitezele liniare pe axele X,Y și Z ale gripper-ului manipulatorului Cyton în momentul preluării piesei.

Rezultatele cercetării, pentru acest obiectiv, au dus la obținerea *structurii de conducere servoing vizuală pentru poziționarea precisă a manipuloarelor care echipează SAC-ARP și SAC-VAM integrate în tehnologii de asistare medico-socială și deservire de linii fabricație flexibilă de precizie, de laborator (linii de mecatronică), structura bazată pe sisteme servoing vizuale mobil*. Activitatea 2.9 a fost îndeplinită în proporție de 100%.