

Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați
Școala doctorală de Științe fundamentale și ingineresti



TEZĂ DE DOCTORAT

**CONTRIBUȚII LA CONDUCEREA
LINIILOR DE FABRICAȚIE FLEXIBILĂ
DESERVITE DE ROBOȚI MOBILI
ECHIPAȚI CU MANIPULATOARE ȘI
SISTEME SERVOING VIZUALE**

Rezumat

Doctorand
Ing. George Petrea

Conducător științific
Prof. dr. ing. Adrian Filipescu

Seria 18, Nr. 5
GALAȚI,
2018

Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați
Școala doctorală de Științe fundamentale și ingineresti



TEZĂ DE DOCTORAT

CONTRIBUȚII LA CONDUCEREA LINIILOR DE FABRICAȚIE FLEXIBILĂ DESERVITE DE ROBOȚI MOBILI ECHIPAȚI CU MANIPULATOARE ȘI SISTEME SERVOING VIZUALE

Rezumat

Doctorand,
Ing. George Petrea

Președinte,

Prof. dr. ing. Eugen-Victor-Cristian RUSU

Conducător științific,

Prof. dr. ing. Adrian Filipescu

Referenți științifici

Prof.dr.ing. Dan Popescu
Prof.dr.ing. Dorian Cojocar
Prof.dr.ing. Sergiu Caraman

Seria 18, Nr. 5
GALAȚI,
2018

Seriile tezelor de doctorat susținute public în UDJG începând cu 1 octombrie 2013 sunt:

Domeniul **ȘTIINȚE INGINEREȘTI**

Seria I 1: **Biotehnologii**

Seria I 2: **Calculatoare și tehnologia informației**

Seria I 3: **Inginerie electrică**

Seria I 4: **Inginerie industrială**

Seria I 5: **Ingineria materialelor**

Seria I 6: **Inginerie mecanică**

Seria I 7: **Ingineria produselor alimentare**

Seria I 8: **Ingineria sistemelor**

Domeniul **ȘTIINȚE ECONOMICE**

Seria E 1: **Economie**

Seria E 2: **Management**

Domeniul **ȘTIINȚE UMANISTE**

Seria U 1: **Filologie- Engleză**

Seria U 2: **Filologie- Română**

Seria U 3: **Istorie**

Cuprins

Notații și abrevieri	6
Introducere	7
Considerații privind liniile de fabricație flexibilă deservite de roboți mobili	7
Scopul și obiectivele cercetării cu privire la conducerea liniilor de fabricație flexibilă	7
Structura și conținutul tezei	8
Capitolul 1. Stadiul actual al conducerii liniilor de fabricație flexibilă deservite de platforme mobile și manipolatoare robotice	9
1.1 Sisteme VS integrate în liniile de fabricație pentru conducerea sistemelor robotice ...	10
Capitolul 2. Analiza liniilor de fabricație flexibilă asistate de roboți mobili	12
2.1 Structura de bază a unui sistem de fabricație flexibilă	12
2.2 Clasificarea sistemelor de fabricație flexibilă	12
2.3 Linia de prelucrare Festo MPS-200	13
2.4 Structura platformei robotice mobile Pioneer P3-DX echipată cu un manipulator Pioneer 5-DOF Arm	14
2.5 Robotul mobil PeopleBot	14
2.6 Manipulatorul robotic Cyton Gamma 1500	15
Capitolul 3. Modelarea liniilor de prelucrare deservite de sisteme autonome complexe	15
3.1 Ipoteze de lucru în vederea modelării liniei Festo MPS-200	16
3.2 Organigrama asociată task-urilor procesului de prelucrare pe linia Festo MPS-200	16
3.3 Modelul cu evenimente discrete al liniei mecatronice Festo MPS-200 utilizând rețele Petri netemporizate	17
3.4 Modelul cu evenimente discrete al liniei mecatronice Festo MPS-200 utilizând rețele Petri temporizate	18
3.5 Modelarea liniei de prelucrare deservită de sisteme autonome utilizând rețele Petri hibride sincronizate	19
Capitolul 4. Simularea modelului liniei de prelucrare deservită de sisteme autonome complexe	21
4.1 Simularea modelului cu rețele Petri hibride sincronizate	21
4.2 Simularea în MobileSim a platformei mobile cu structură de conducere sliding mode deservind linia mecatronică Festo MPS-200	23
Capitolul 5. Sisteme VS utilizate în conducerea sistemelor autonome complexe pentru deservirea liniilor de fabricație flexibilă	25
5.1 Trăsături vizuale utilizate în sistemele VS	25
5.1.1 Definirea trăsăturilor tip momente ale imaginii	25
5.2 Modelarea sistemului VS	25
5.3 Matricea de interacțiune pentru momente ale imaginii	26
5.4 Legea de conducere proporțională pentru manipulatorul robotic	26
5.5 Conducerea în timp real a liniei de prelucrare utilizând un sistem VS fix	27
5.5.1 Aplicația de sincronizare și conducere video pentru sistemul VS fix	27
5.6 Conducerea în timp real a liniei de prelucrare utilizând un sistem VS mobil	28
5.6.1 Aplicația de sincronizare și conducere video pentru sistemul VS mobil	29
Capitolul 6. Concluzii și contribuții	30
6.1 Contribuții	30
6.2 Diseminarea rezultatelor	31

Notații și abrevieri

ARIA – advanced robotic interface for applications (set de instrumente pentru dezvoltare software de aplicații pentru platformele aparținând MobileRobots);
CAD – computer aided design (aplicații pentru asistența în proiectare);
CAE – computer aided engineering (inginerie asistată de calculator);
CAM – computer aided manufacturing (fabricație asistată de calculator);
CAP – computer aided planning (planificare asistată de calculator);
CAQ – computer aided quality (teste de calitate cu ajutorul calculatorului);
CAS – computer aided service (depanare asistată de calculator);
CNC – computer numerical control (control numeric pe calculator);
DOF – degree of freedom (grad de libertate);
DW – driving wheel (roată motoare);
FW – free wheel (roată liberă);
GUI – graphical user interface (interfață grafică utilizator);
HPN – hybrid Petri net (rețea Petri hibridă);
I/O – input/output (semnale de intrare/ieșire);
ML – mechatronic line (linie de mecatronica);
DH - Denavit–Hartenberg (Parametrii Denavit Hartenberg)
PLC – programmable logic controller (automat programabil);
PN – Petri net (rețea Petri);
P/R – processing / reprocessing (prelucrare / reprelucrare);
P/RML – processing reprocessing mechatronic line (linie de mecatronică pentru prelucrare / reprelucrare);
Profibus DP – process field bus with decentralised peripherals (rețea industrială de proces cu periferie distribuită);
RM – robotic manipulator (manipulator robotic);
SHPN – synchronised hybrid Petri net (rețea Petri hibridă de tip sincronizat);
TPN – timed Petri net (rețea Petri temporizată);
THPN – timed hybrid Petri net (rețea Petri hibridă temporizată);
VS – visual servoing (servoing vizual);
WMR – wheeled mobile robot (robot mobil cu roți).

Introducere

Evoluțiile actuale ale pieței de producție obligă companiile de profil să ia act de progresul tehnic și să implementeze măsuri în vederea creșterii productivității și dezvoltării relațiilor cu utilizatorii. Un rol important în adaptarea la aceste cerințe îl are utilizarea sistemelor de fabricație flexibilă. Aceste sisteme se evidențiază prin caracteristici de flexibilitate, conferite de capacitatea de a asambla sau procesa produse diferite prin reconfigurări ale stațiilor de lucru și prin caracteristici de reversibilitate în concordanță cu conceptul de reutilizare sau reprocesare a pieselor care nu satisfac condițiile impuse.

Utilizarea sistemelor autonome complexe integrate în cadrul liniilor de fabricație este actualmente una din variantele posibile pentru a răspunde la această galopantă evoluție. Aceste sisteme autonome complexe sunt alcătuite din roboți mobili și manipolatoare robotice.

Considerații privind liniile de fabricație flexibilă deservite de roboți mobili

Necesitatea optimizării etapelor de procesare a determinat, în multe studii de specialitate, utilizarea structurilor robotice, cu scopul de a crește fiabilitatea sistemului, a procesului automatizat, dar și pentru a elimina incertitudinile și pericolele datorate intervenției factorului uman în desfășurarea procesului, permițând astfel eficientizarea conducerii sistemului.

Totodată, pentru eliminarea riscurilor de securitate pentru factorul uman, conducerea structurilor robotice necesită elemente ajutătoare din câmp pentru maximizarea eficienței. Astfel, în multe procese, s-a dezvoltat conceptul de VS al structurilor robotice, care permite captarea și procesarea imaginilor vizuale din câmp, în vederea utilizării lor în conducerea sistemului.

Scopul și obiectivele cercetării cu privire la conducerea liniilor de fabricație flexibilă

În ceea ce privește obiectivele cercetării de față, acestea se referă, în primul rând, la modelarea unui sistem de prelucrare flexibilă. Studiile anterioare au arătat că un instrument eficient de modelare a sistemelor cu evenimente discrete îl reprezintă rețelele Petri. În modelarea sistemului de prelucrare vor fi utilizate diferite tipologii de rețele Petri, tocmai pentru ca, ulterior, modelele obținute să ajute la implementarea conducerii în timp real a structurii. Diversele modele de rețele Petri se vor referi atât la modelarea duratelor

operațiilor, cât și la modelarea cinematică sau dinamică a roboților mobili, în vederea implementării unei structuri de conducere pentru transportul pieselor.

De asemenea, în cadrul acestei teze, se dorește particularizarea modelului obținut pentru îmbunătățirea performanțelor sistemului mecatronic reprezentat de o linie de prelucrare flexibilă, deservită, pentru operațiile de manipulare și transport, după caz, de un ansamblu robotic format dintr-un robot mobil și un manipulator sau de un sistem autonom complex format din un robot mobil echipat cu manipulator robotic, un robot mobil pentru operațiile de transport și un manipulator robotic fix pentru returnarea pieselor. La sfârșitul implementării structurii de conducere, sistemul mecatronic va deveni complet automatizat, permițând desfășurarea atât a activității de procesare, cât și a celor de manipulare și transport, fără intervenția operatorului uman. Din punct de vedere temporal, procesarea reprezintă o activitate periodică, repetitivă, în timp ce transportul și reprecizarea piesei vor fi procese accidentale, declanșate de evenimentul de nevalidare a produsului la testul de calitate.

Totodată, se are în vedere, în cadrul lucrării, stabilirea unei metode de sincronizare între linia flexibilă și sistemele autonome complexe utilizate pentru detecția piesei declarate rebut și pentru preluarea, respectiv livrarea acesteia în vederea reprecizării.

Structura și conținutul tezei

Lucrarea este împărțită în 6 capitole, fiecare având conținutul descris mai jos.

În **Capitolul 1**, este prezentat stadiul actual al cercetărilor referitoare la conducerea sistemelor de fabricație flexibilă, sunt descrise caracteristicile proceselor de fabricație flexibilă și ale proceselor de asamblare/dezasamblare și prelucrare și sunt prezentate aspecte generale referitoare la uneltele de modelare și procesare utilizate.

Capitolul 2 prezintă, într-o primă parte, o sinteză privind caracteristicile generale ale sistemelor de fabricație flexibilă. Aici sunt descrise schematic arhitectura unui astfel sistem de fabricație flexibilă și principalele funcții ale acestuia. Mai apoi accentul cade pe tendința actuală în ceea ce privește colaborarea dintre sistemele autonome complexe și sistemele de fabricație flexibilă și se evidențiază principalele funcții pe care acestea le pot îndeplini în cadrul unei instalații industriale. Capitolul se încheie cu prezentarea generală a platformelor utilizate în desfășurarea cercetării, și anume: linia de prelucrare FESTO MPS-200, robotul Pioneer P3-DX având montat un manipulator robotic Pioneer 5-DOF Arm, robotul PeopleBot și manipulatorul robotic Cyton Gamma 1500.

În **Capitolul 3**, sunt evidențiate ipotezele de lucru în ceea ce privește analiza și determinarea unui model pentru dinamica liniilor de fabricație flexibilă. Modelarea proceselor se face utilizând rețele Petri și se abordează diferite tipuri de topologii: netemporizate,

temporizate urmând ca, datorită planificării task-urilor și a componenței sistemului, să se aleagă varianta unei modelări hibride, sincronizate, pentru conducerea liniei deservite de sisteme autonome complexe. Contribuțiile din acest capitol sunt, determinarea modelelor hibride ale liniei de prelucrare flexibilă sincronizată cu diverse structuri robotice complexe cu ajutorul aplicațiilor de VS.

Având la bază analiza din capitolul precedent, **Capitolul 4** prezintă simularea modelelor rezultate cu ajutorul programului specializat Sirphyco, instrument specific de modelare și simulare a rețelelor Petri. De asemenea, sunt prezentate modelul cinematic al platformei mobile, conducerea sliding mode a acesteia și simularea în Mobile Sim a traiectoriei de parcurs pentru recuperarea pieselor.

Capitolul 5, utilizând rezultatele obținute în capitolele precedente, prezintă implementarea în timp real a conducerii liniei de prelucrare deservită de robotul mobil cu manipulator robotic și aplicația Matlab utilizată pentru sincronizare și VS. De asemenea aici este implementată și cea de-a doua structură de conducere, care utilizează suplimentar un robot mobil PeopleBot pentru transportul pieselor de prelucrat și un manipulator robotic Cyton Gamma 1500 pentru returnarea pieselor pe linia de prelucrare.

În **Capitolul 6**, sunt prezentate concluziile, contribuțiile, diseminarea rezultatelor și direcțiile viitoare de cercetare.

Capitolul 1.

Stadiul actual al conducerii liniilor de fabricație flexibilă deservite de platforme mobile și manipolatoare robotice

Evoluția industriei din ultimii 20 de ani a fost marcată profund de apariția sistemelor și proceselor de fabricație flexibilă, care au dat un imbold progresului tehnologic. Un astfel de progres, implicat în toate domeniile de industrie duce, fără echivoc, la apariția și dezvoltarea diferitelor sisteme de fabricație flexibilă. Baza acestor sisteme o constituie dezvoltarea metodelor de conducere, a roboților și dispozitivelor de prelucrare, dar și apariția și integrarea sistemelor de transport și manipulare.

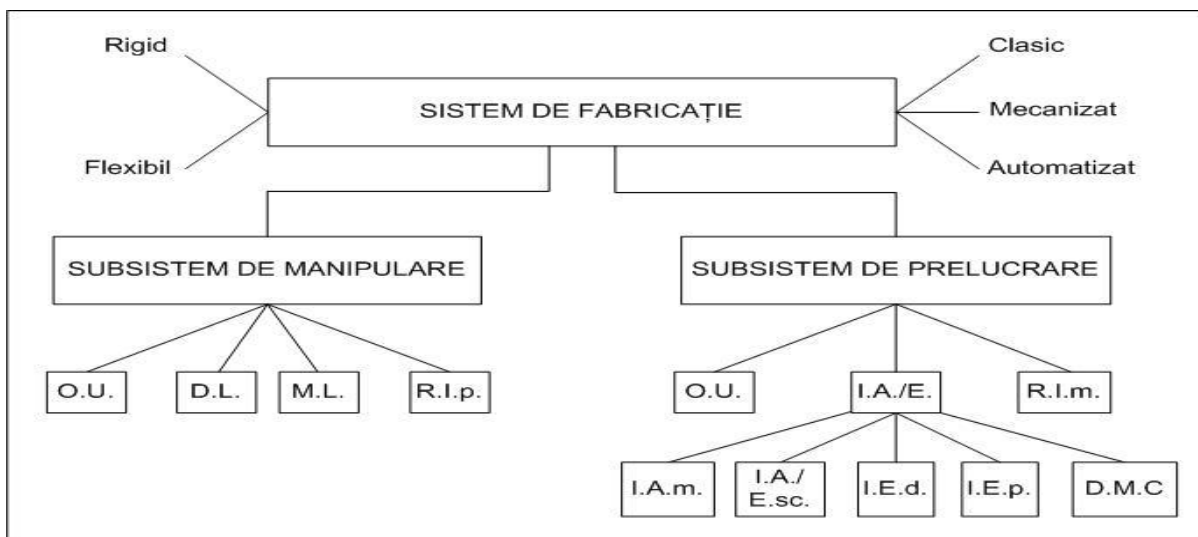


Fig. 1.1. - Reprezentarea structurală a sistemului de fabricație

Figura 1.1 prezintă structura generală a unui sistem de fabricație, precum și clasificarea unui astfel de sistem în funcție de nivelul de dezvoltare. Extras din figura de mai sus, sistemul de fabricație poate fi definit ca ansamblul componentelor de natură materială sau nematerială, fiecare cu un rol bine determinat în realizarea unui produs.

1.1 Sisteme VS integrate în liniile de fabricație pentru conducerea sistemelor robotice

Feedback-ul visual necesită 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.

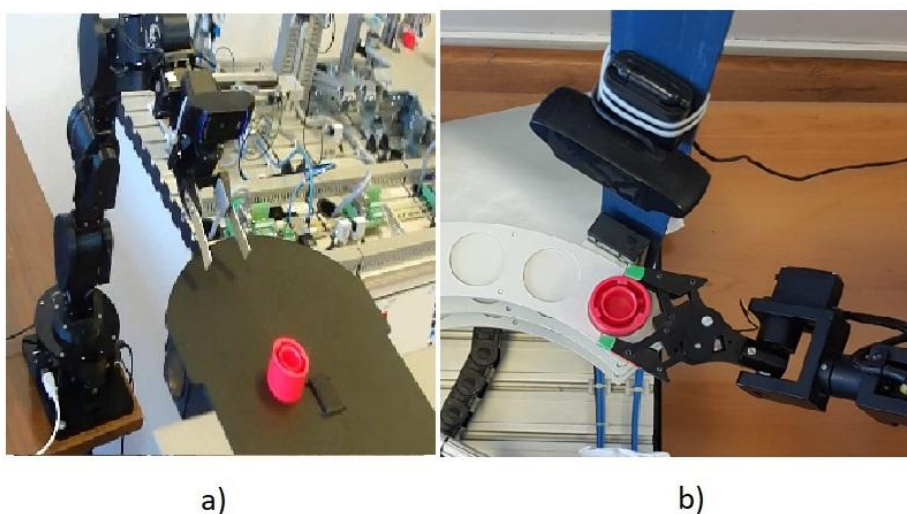


Fig. 1.2. - Tipuri de arhitecturi: a) Configurația eye-in-hand, b) Configurația eye-to-hand

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

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

- **Sisteme VS bazate pe poziții.**
- **Sisteme VS bazate pe imagini.**

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.

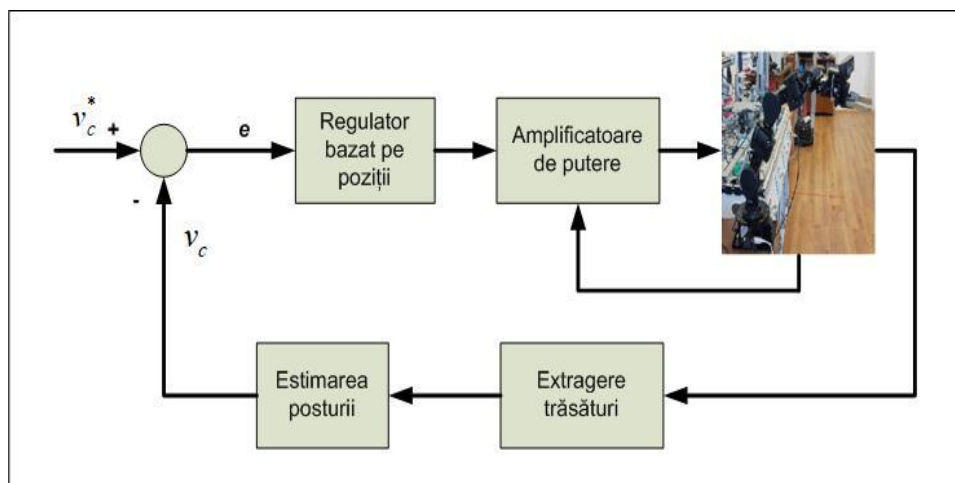


Fig. 1.3. - Diagrama bloc pentru arhitectura bazată pe poziție

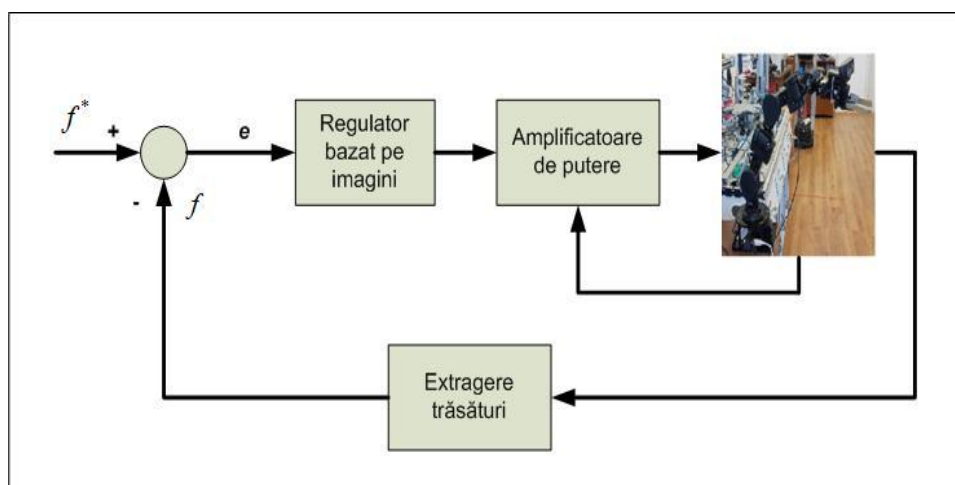


Fig. 1.4. - Diagrama bloc pentru arhitectura bazată pe imagini

Strategia de conducere a unor sisteme cu arhitectură bazată pe imagini, utilizand imagini 2D, o reprezintă metoda de minimizare a erorii dintre parametrii referință și cei extrași din imagine. Figura 1.4 ilustrează diagrama bloc a unei arhitecturii bazate pe imagini.

Capitolul 2.

Analiza liniilor de fabricație flexibilă deservite de roboți mobili

2.1 Structura de bază a unui sistem de fabricație flexibilă

Figura 2.2, reprezintă schema bloc a unui sistem de fabricație flexibilă, deservit de roboți mobili.

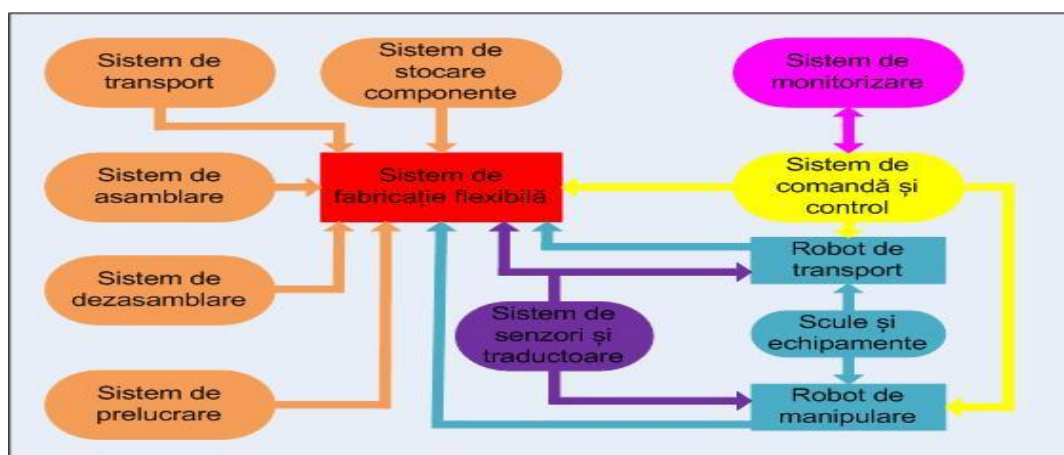


Fig. 2.2. – Sistem de fabricație flexibilă clasic, deservit de roboți

2.2 Clasificarea sistemelor de fabricație flexibilă

În general, sistemele de fabricație pot fi clasificate în două tipuri:

1. Sisteme sincronizate, în cadrul cărora transferul sarcinii de la o stație de lucru la alta se face coordonat și simultan. Astfel, numărul de sarcini din cadrul sistemului rămâne constant, nefiind necesară utilizarea bufferelor între stații. Aceste sisteme mai pot fi divizate în două subtipuri:
 - Sisteme sincronizate cu timp limită (de tip „paced”) – se referă la faptul că timpul alocat unei stații de lucru pentru efectuarea unei sarcini este limitat. Când timpul

alocat a expirat nu se va mai putea lucra asupra sarcinii respective și produsul rezultat poate fi incomplet.

- Sisteme sincronizate fără timp limită (de tip “unpaced”) – se referă la faptul că nu există un timp limită definit pentru execuția unei sarcini.
2. Sisteme nesincronizate, în cadrul cărora distribuția sarcinilor nu este coordonată. Astfel, stația poate începe execuția unei sarcini imediat ce acest lucru este posibil (sunt îndeplinite condițiile). Aceste tipuri de sisteme sunt de cele mai multe ori fără limită de timp pentru execuția sarcinilor (unpaced).

Flexibilitatea unui sistem de fabricație poate avea mai multe conotații, în funcție de structura sistemului, de tipurile de operații sau de tipul produselor obținute. Astfel, flexibilitatea se poate referi la:

- Flexibilitate în ceea ce privește capacitatea de reconfigurare a stațiilor pentru a obține diverse tipuri de produse finite.
- Flexibilitate în ceea ce privește ordinea operațiilor în cadrul unui sistem de fabricație.
- Flexibilitatea în ceea ce privește capacitatea de a reutiliza sau prelucra produse de același tip pe aceeași linie sau pe o linie de fabricație diferită, special alocată pentru acest scop.

Reversibilitatea, pe de altă parte, este o caracteristică a unui sistem de fabricație, care se poate clasifica după cum urmează:

- Reversibilitatea unei linii de asamblare, care implică recuperarea pieselor componente ale unui ansamblu sau subansamblu, care nu a trecut testul de calitate
- Reversibilitatea unei linii de procesare, care se referă la reintroducerea în proces a unei piese care a fost respinsă în urma testului de calitate.

2.3 Linia de prelucrare Festo MPS-200

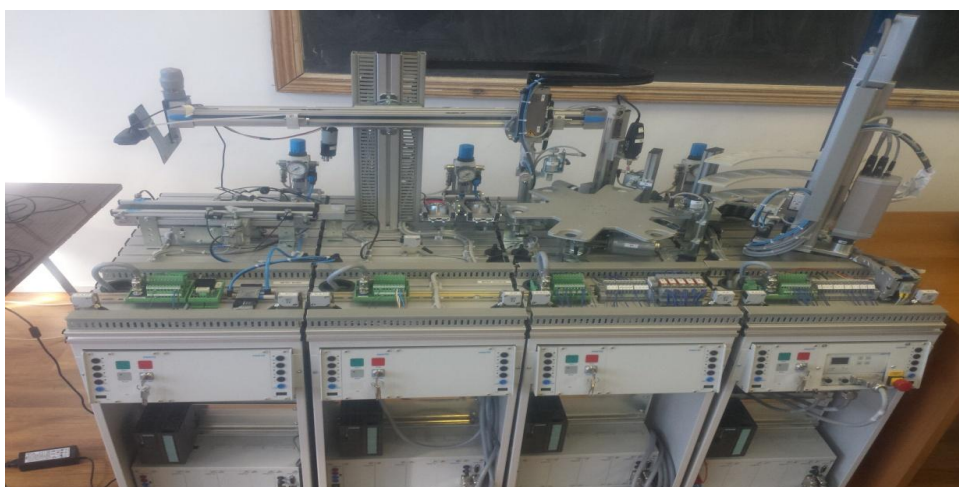


Fig. 2.5. - Linia de mecatronică Festo MPS-200

Linia mecatronică de prelucrare Festo MPS-200, ilustrată în Fig. 2.5, reprezintă un sistem modular de producție, o linie flexibilă ce deservește procesarea industrială. Varianta utilizată în acest proiect este compusă din 4 stații independente, de manipulare, procesare, transport și depozitare.

2.4 Structura platformei robotice mobile Pioneer 3-DX echipată cu un manipulator Pioneer 5-DOF Arm

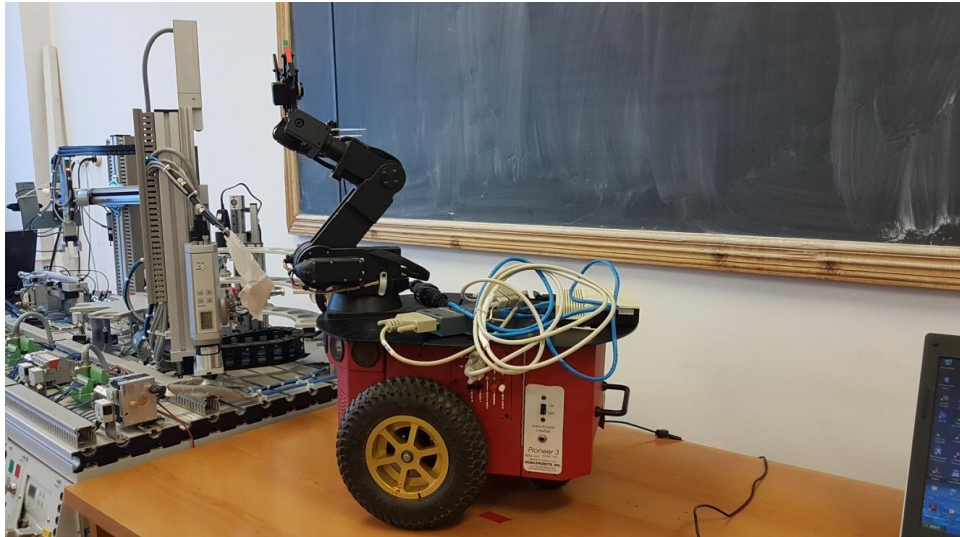


Fig. 2.11. - Robotul mobil Pioneer 3-DX și manipulatorul robotic Pioneer 5 DOF Arm

2.5 Robotul mobil PeopleBot



Fig. 2.12. - Robotul mobil PeopleBot

2. 6 Manipulatorul robotic Cyton Gamma 1500

Utilizarea în cadrul cercetării a manipulatorului robotic Cyton Gamma 1500 pentru dezvoltarea modelului VS mobil, cu ajutorul unei camere video montate pe efectorul acestuia, se va dovedi a fi o alegere optimă, datorită capacității de a prelua și livra obiecte în diferite poziții și orientări. Cele 7 grade de libertate conferă brațului posibilitatea de a manipula obiecte cu o dexteritate deosebită.



Fig. 2.13. - Manipulatorul robotic Cyton Gamma 1500

Capitolul 3.

Modelarea liniilor de prelucrare deservite de sisteme autonome complexe

Unul dintre obiectivele pentru această teză este de a analiza și realiza modele pentru linia de prelucrare Festo MPS-200 deservită de sisteme autonome complexe, în vederea implementării unei structuri de monitorizare și conducere a sistemului flexibil de prelucrare care să permită și re prelucrare. Se vor folosi modele hibride, în care linia de prelucrare generează evenimentele ce vor determina tranzițiile de stare, discrete, ale procesului, iar roboții mobili implicați în deservirea liniei reprezintă partea continuă a procesului modelat.

Modelarea are ca obiectiv simularea sistemului cu scopul final de a elabora strategia de conducere a ansamblului format din sistemul robotic și linia de prelucrare. Pentru conducerea sistemului este esențială realizarea sincronizării dintre funcționarea liniei flexibile Festo MPS200 și sistemele robotice care o vor deservi în vederea transportării pieselor defecte, care sunt prelucrate din nou. Pentru sincronizarea liniei cu sistemele

autonome se va utiliza varianta unei aplicații bazată pe VS, utilizând rezultatele procesării imaginilor oferite de camere video.

3.1 Ipoteze de lucru în vederea modelării liniei Festo MPS-200

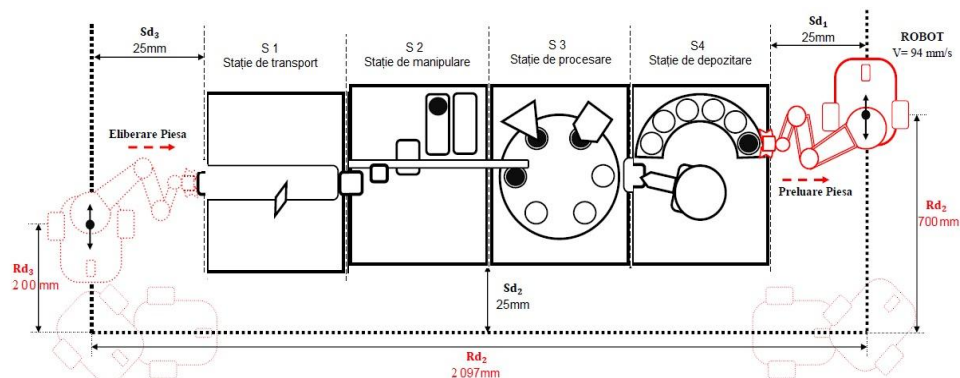


Fig. 3.1. - Linia de mecatronică pentru prelucrare flexibilă Festo MPS-200 - imagine de ansamblu

3.2 Organigrama asociată task-urilor procesului de prelucrare pe linia Festo MPS-200

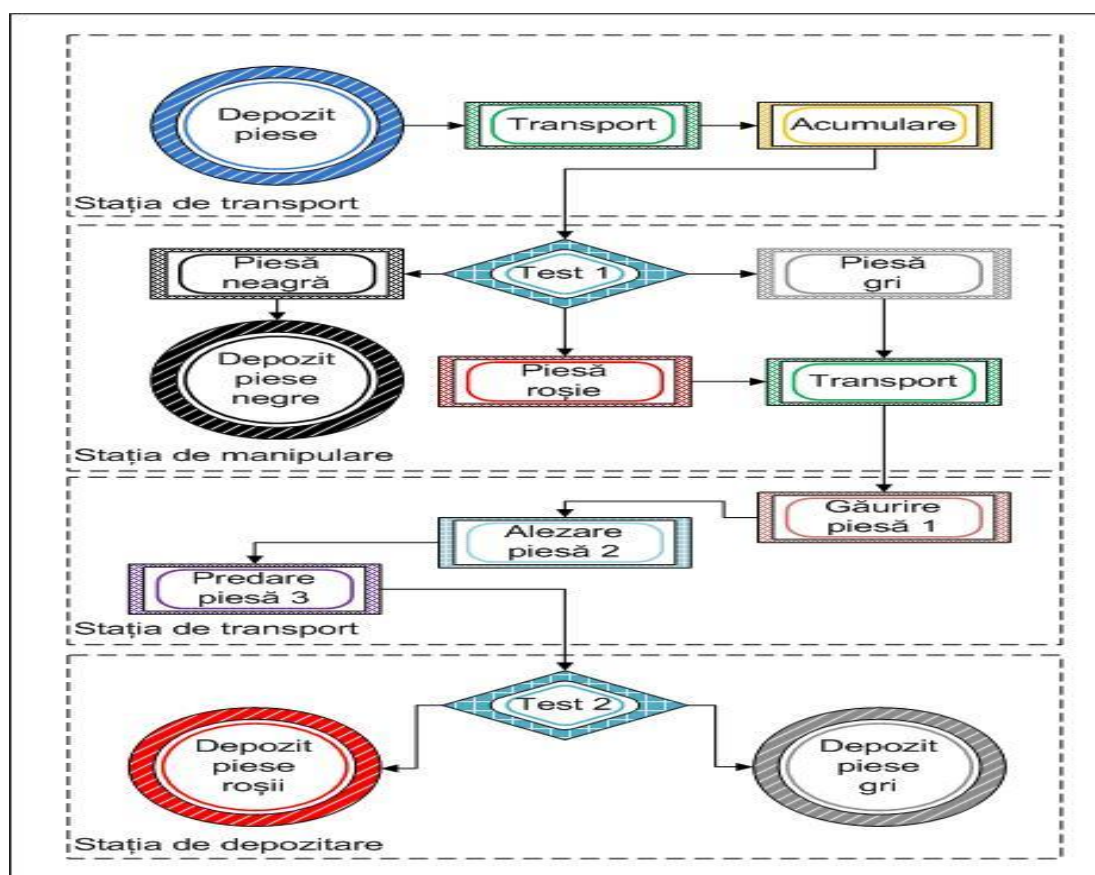


Fig. 3.2. - Organigrama pentru definirea ciclului de prelucrare

3.3 Modelul cu evenimente discrete al liniei de laborator Festo MPS-200 utilizând rețele Petri netemporizate

Utilizând rețele Petri netemporizate, în abordare discretă, pentru a modela procesul de prelucrare al liniei flexibile FESTO, se obține un model la nivel de stare. Astfel, întregul comportament al sistemului este reliefat prin determinarea acțiunilor ce se petrec în acesta, stările care preced acțiunile și stările viitoare în care va evolua sistemul.

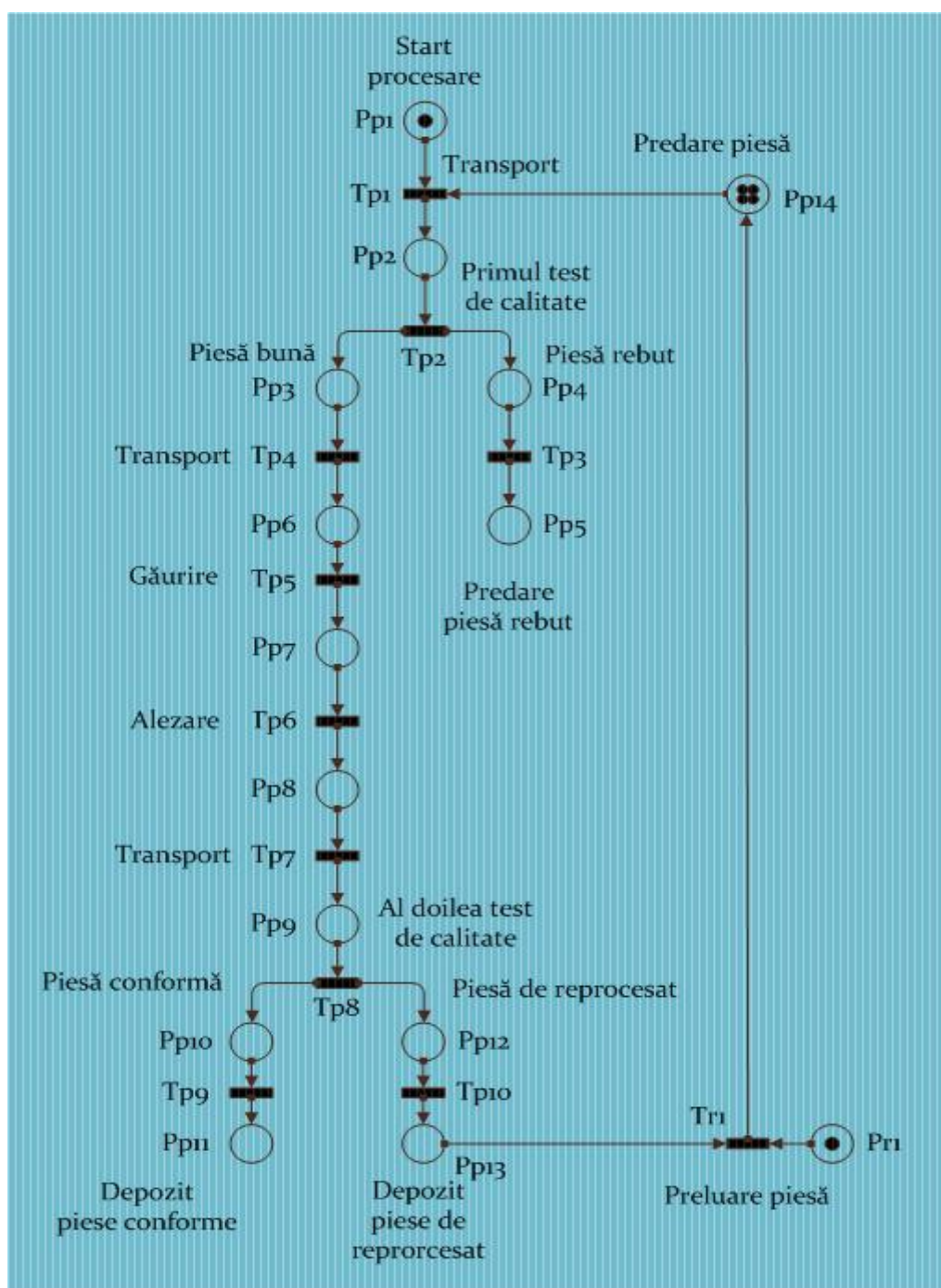


Fig. 3.3. - Modelul cu rețea Petri discretă netemporizată al procesului de prelucrare pe linia Festo MPS-200

3.4 Modelul cu evenimente discrete al liniei de laborator Festo MPS-200 utilizând rețele Petri temporizate

Având în vedere ipotezele inițiale, organigrama de task-uri din Fig. 3.2 și descrierea operațiilor figura 3.4 ilustrează modelul liniei de prelucrare flexibilă Festo MPS-200 prin reprezentarea ca o rețea Petri temporizată.

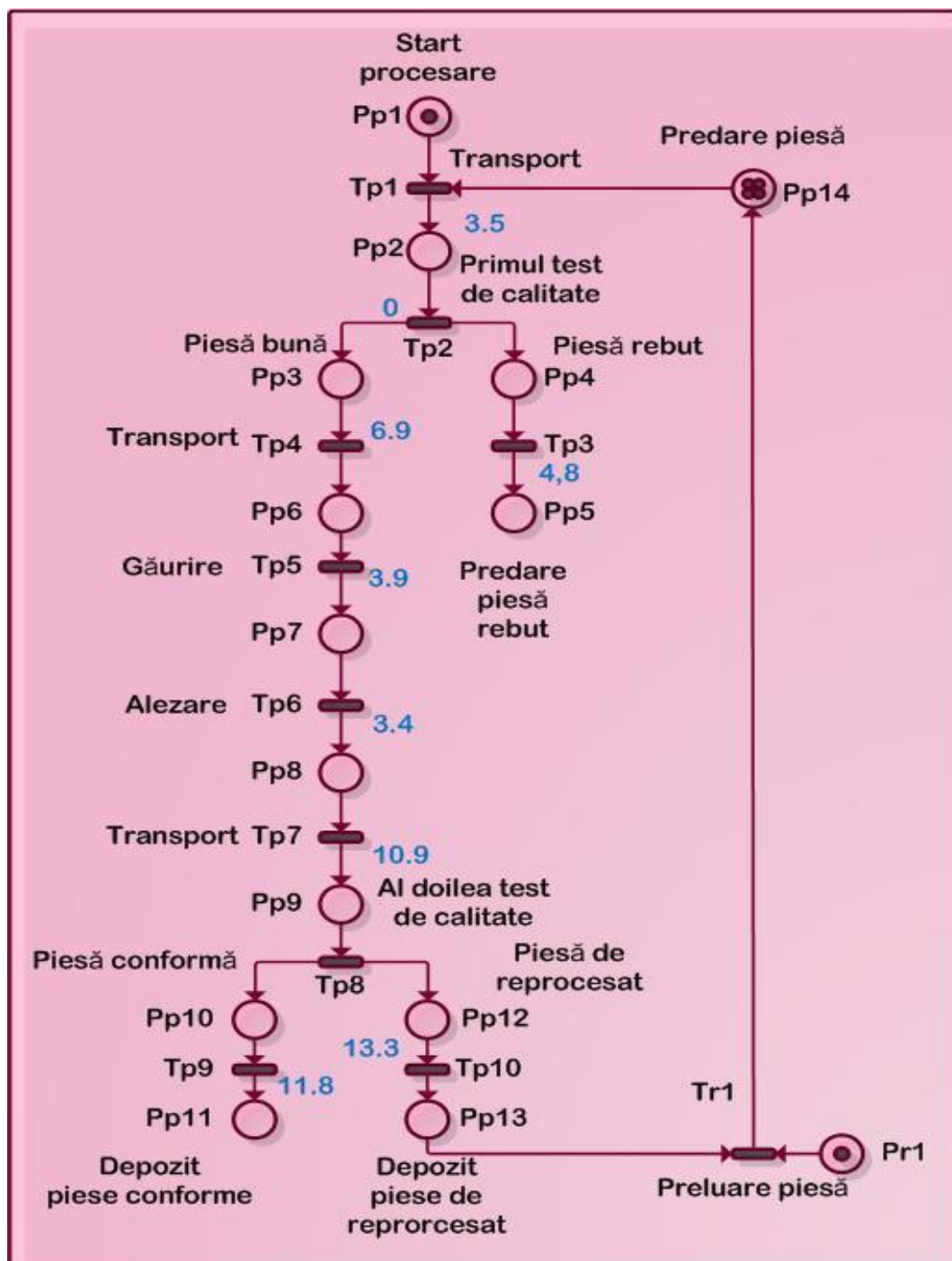


Fig. 3.4. - Modelul cu rețea Petri discretă temporizată al procesului de prelucrare pe linia Festo MPS-200

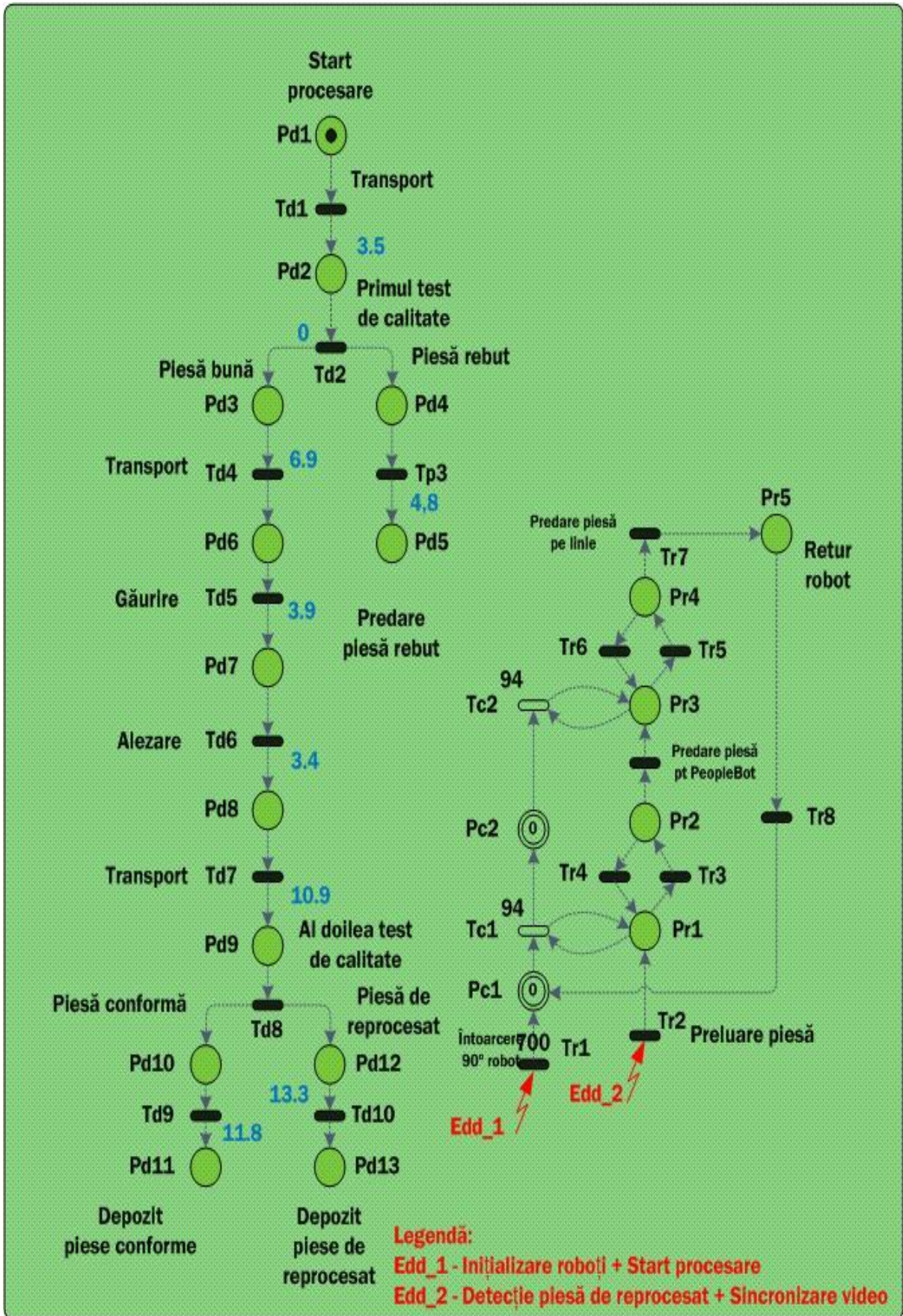


Fig. 3.6. - Modelul cu rețea Petri hibridă a procesului de prelucrare deservit de 2 roboți mobili și un manipulator fix

Capitolul 4.

Simularea modelului liniei de prelucrare deservită de sisteme autonome

4.1 Simularea modelului cu rețele Petri hibride sincronizate

Utilizând modelele de rețele Petri hibride obținute în capitolul anterior, s-a conturat necesitatea simulării acestora, în vederea analizei și determinării corectitudinii modelelor alese. Simularea s-a realizat cu ajutorul mediului de simulare Sirphyco.

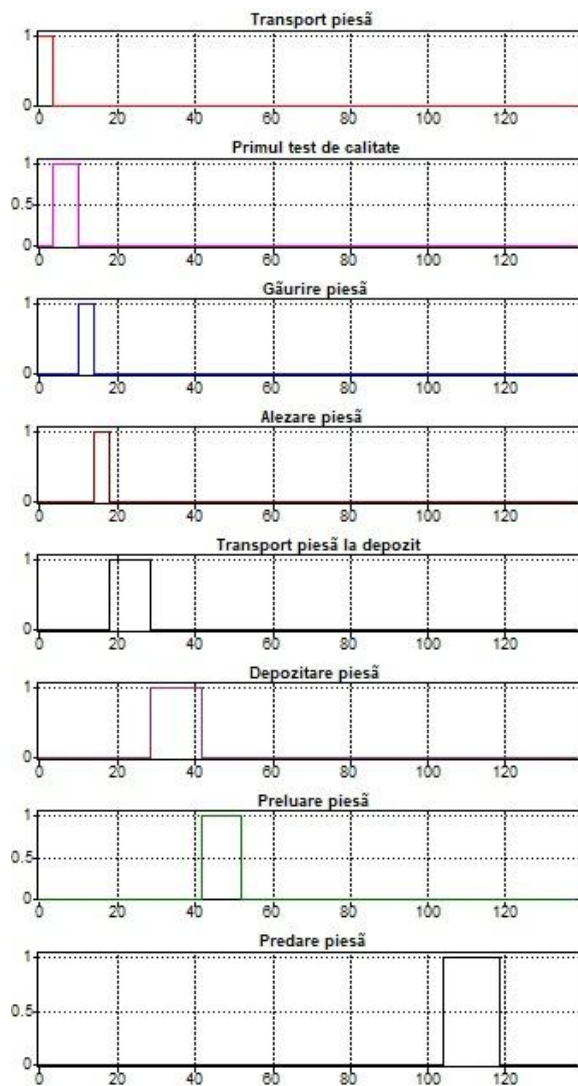


Fig. 4.1. - Evoluția tranzițiilor discrete ale sistemului de prelucrare deservit de un singur robot mobil cu manipulator

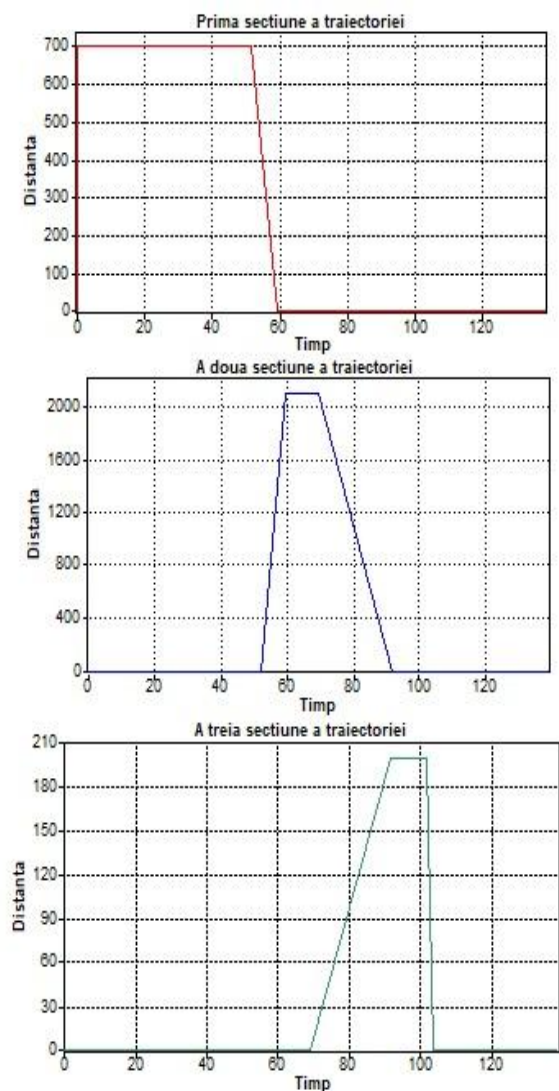


Fig. 4.2. - Evoluția tranzițiilor continue ale robotului mobil echipat cu manipulator robotic

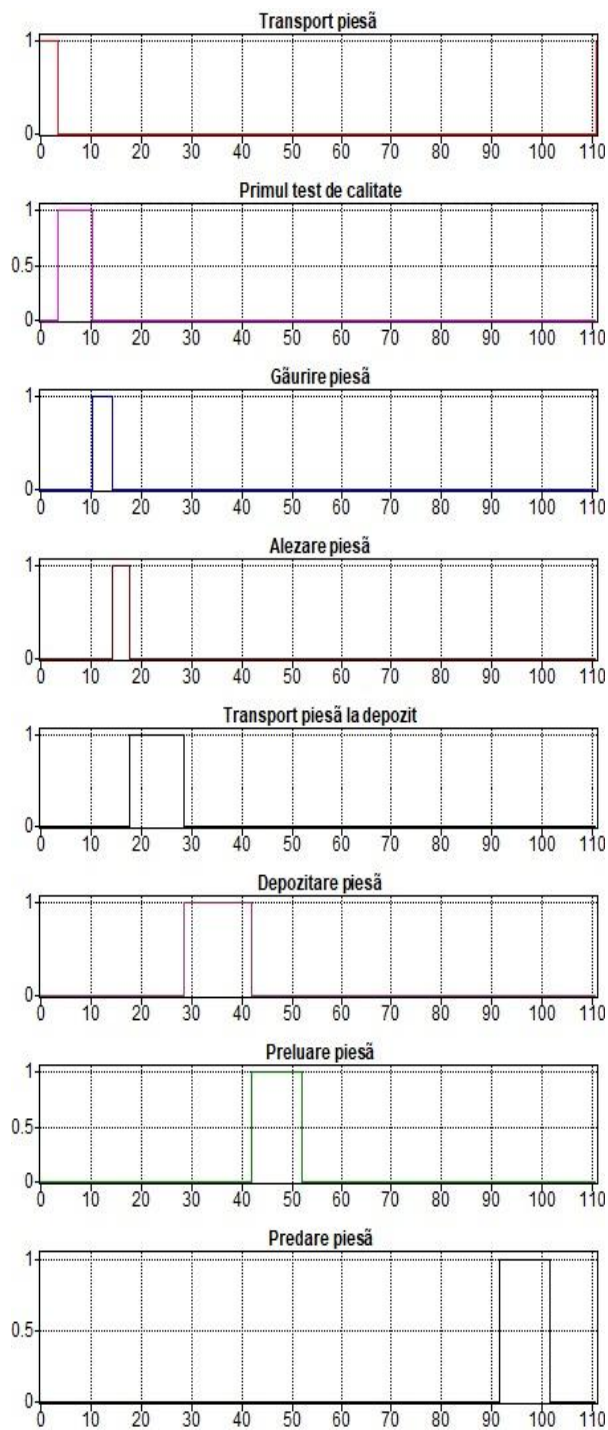


Fig. 4.3. - Evoluția tranzițiilor discrete ale sistemului de prelucrare deservit de doi roboți mobili și manipulator fix.

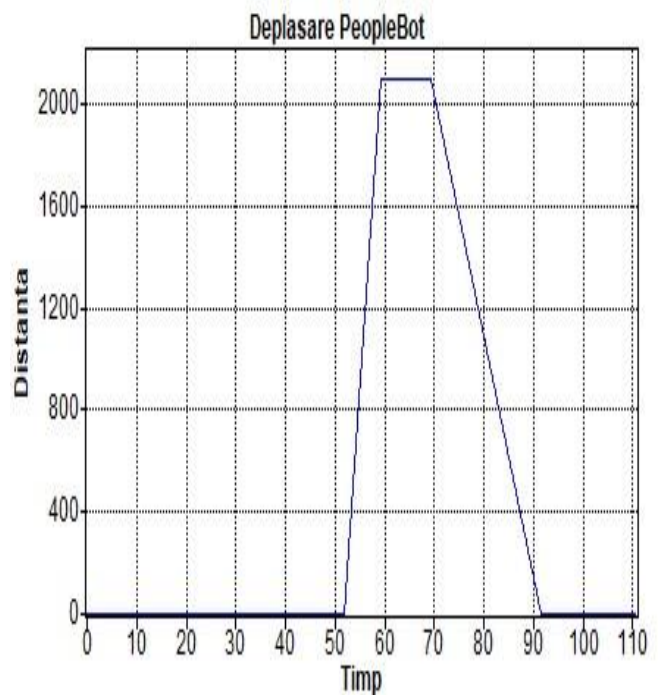
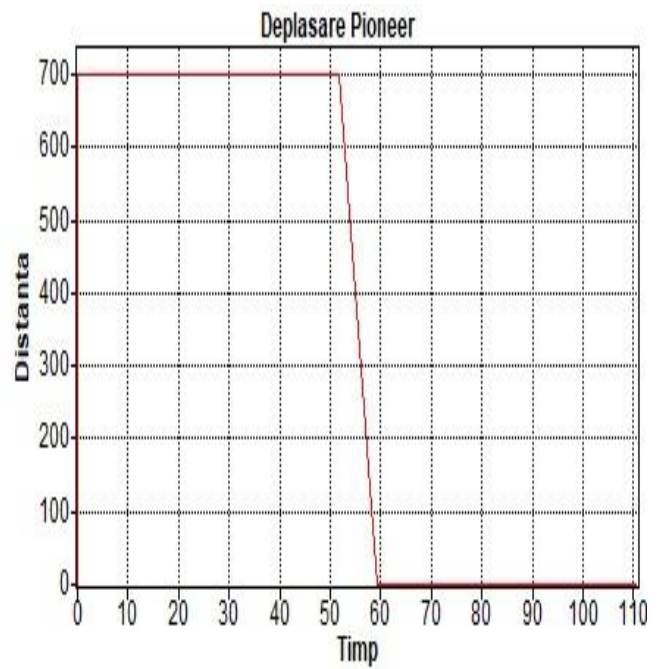


Fig. 4.4. - Evoluția tranzițiilor continue ale celor doi roboți mobili deservind linia de prelucrare

4.2 Simularea în MobileSim a platformei mobile cu structură de conducere sliding-mode deservind linia de laborator Festo MPS-200

Utilizând softul MobileSim s-a putut testa, prin simulare, conducerea în buclă închisă a roboților mobili în trajectory tracking. MobileSim este un soft pentru simularea platformelor MobileRobots/ActivMedia. Această variantă de soft vine în înlocuirea SRIsim distribuit anterior cu ARIA.

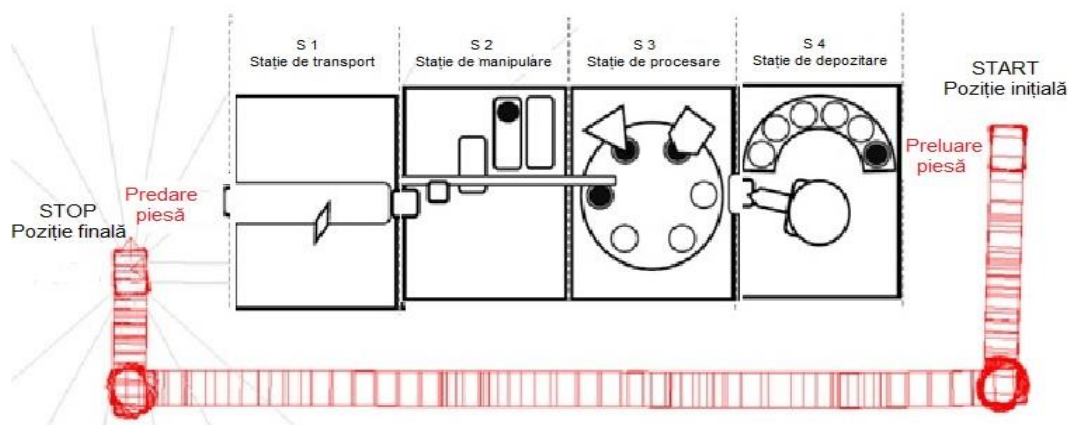


Fig. 4.7. - Simularea deplasării robotului mobil pentru operația de transport deservind linia de prelucrare flexibilă Festo MPS-200

Figurile următoare prezintă câteva rezultate ale simulării. Astfel în figura 4.8 a) s-au trasat traiectoria impusă și cea reală parcursă de robotul mobil. Se poate observa în momentele în care platforma mobilă execută o întoarcere de 90° , o mică deviație a traiectoriei. De asemenea, în figura 4.8 b) s-a trasat graficul variației vitezei platformei mobile raportat la viteza liniară impusă. Conform datelor obținute din graficele simulării, timpul necesar parcurgerii distanței totale a fost de 121.7 s.

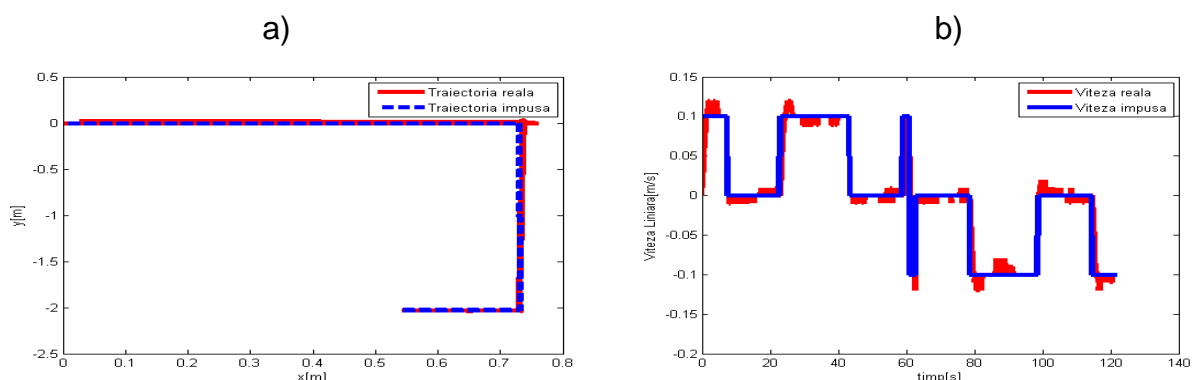


Fig. 4.8. - Simularea deplasării (a) și a vitezei (b) platformei mobile folosind conducerea sliding mode.

În Fig. 4.9 a) se prezintă evoluția erorii de urmărire pe axa x. Se poate observa că maximul erorii reprezintă o deviație de 4 mm raportată la distanța de parcurs.. În 4.9 b) se

poate observa că deviația pe axa y este de aproximativ 2 mm, iar la momentul ultimei întoarceri de 90° , în vederea revenirii în poziția inițială, se atinge o valoare maximă a deviației de 2.37 mm.

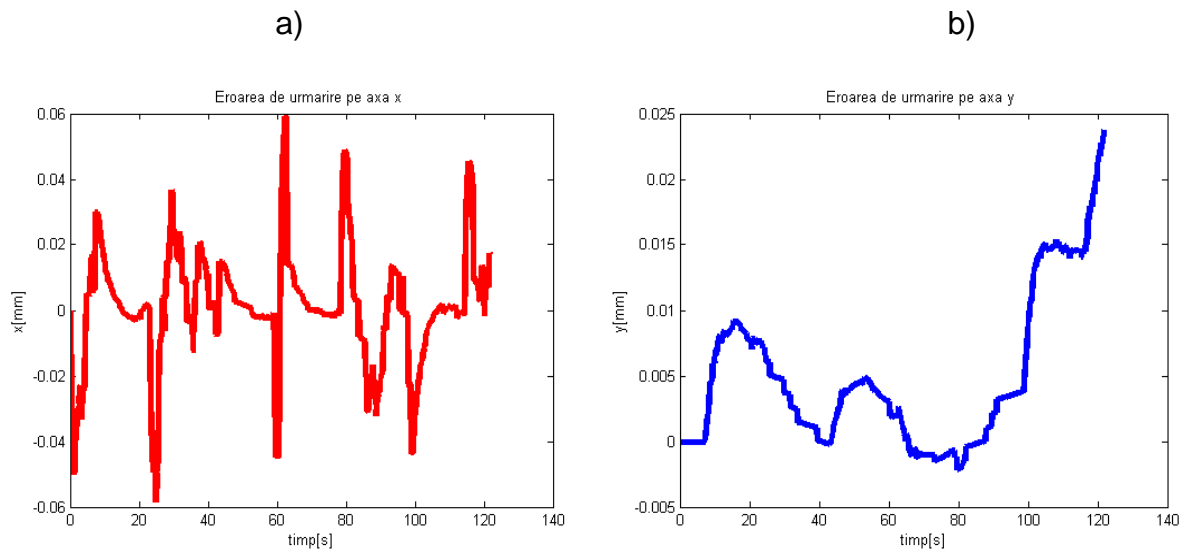


Fig. 4.9. - Evoluția erorii de urmărire în timpul conducerii sliding mode: a) Evoluția pe axa x; b) Evoluția pe axa y.

În Fig. 4.10 a) se prezintă deviația direcției platformei mobile și se poate observa o eroare de aproximativ 2° , iar valoarea vitezei unghiulare reale prezentată în Fig. 4.10 b) are oscilații în jurul impunerii de aproximativ 0.5 rad/s.

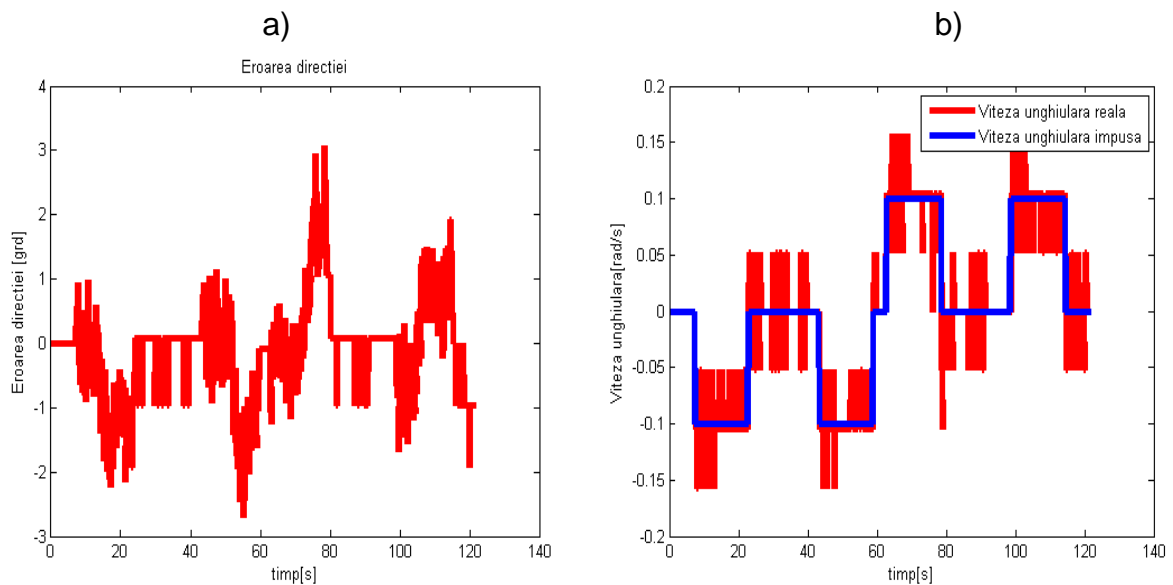


Fig. 4.10. - a) Eroarea de direcție; b) Viteza unghiulară;

Capitolul 5

Sisteme VS utilizate în conducerea sistemelor autonome complexe pentru deservirea liniilor de fabricație flexibilă

5.1 Trăsături vizuale utilizate în sistemele VS

Există două mari categorii de tipuri de trăsături geometrice 2D în literatura de specialitate și acestea sunt definite ca trăsături de tip puncte de interes sau trăsături de tip momente ale imaginii. O trăsătură de tip punct de interes este reprezentată prin coordonatele în plan ale aceluși punct, care are o poziție bine definită și poate fi ușor detectat. Aceste tipuri de puncte de interes pot defini linii, curbe, regiuni de interes, colțuri etc. Trăsăturile de tip momente ale imaginii aduc o creștere importantă performanței unui sistem vizual datorită capacității de a reprezenta obiecte cu forme necunoscute, de a furniza caracteristicile globale ale unei imagini.

5.1.1 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.

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:

$$m_{ij} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x^i y^j I(x, y) dx dy \quad (5.1)$$

5.2 Modelarea sistemului VS

Un sistem VS are la bază următoarele componente: un ansamblu robot manipulator, un senzor vizual și un regulator. Modelarea unui sistem de VS se va reduce la minimizarea erorii apărute între trăsăturile reale ale sistemului, extrase de senzorul vizual și trăsăturile dorite ale cadrului de lucru. Figura 5.3 ilustrează structura unui sistem VS.

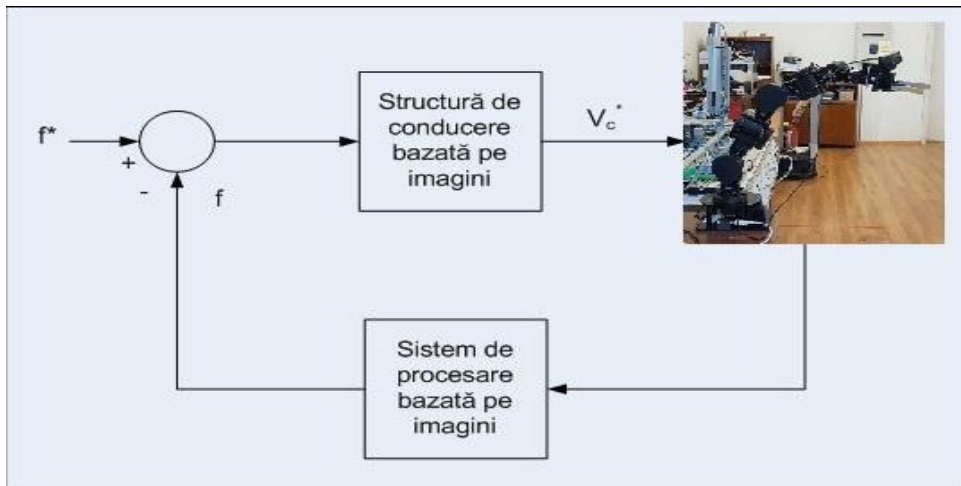


Fig. 5.3. – Structura de conducere a unui sistem robotic utilizând un sistem VS

5.3 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 VS.

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.

$$\dot{m}_{ij} = L_{m_{ij}} v_c \quad (5.5)$$

Presupunând, pentru sistemul robotic, un set de momente puncte ale imaginii de forma, $f = [x_n, y_n, a_n, \tau, \xi, \alpha]^T$ se deduce forma matricii de interacțiune corespunzătoare momentelor imaginii definite prin n puncte:

$$L_f = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & a_n e_{11} & -a_n(1 + e_{12}) & y_n \\ 0 & -1 & 0 & a_n(1 + e_{21}) & -a_n e_{11} & -x_n \\ 0 & 0 & -1 & -e_{31} & e_{32} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \tau_{\omega_x} & \tau_{\omega_y} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \xi_{\omega_x} & \xi_{\omega_y} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \alpha_{\omega_x} & \alpha_{\omega_y} & -1 \end{bmatrix} \quad (5.14)$$

5.4 Legea de conducere proporțională pentru conducerea ansamblului robot mobil manipulator robotic

Dacă alegem f , un set 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:

$$\dot{f} = \frac{\partial f}{\partial r} \frac{dr}{dt} + \frac{\partial f}{\partial t} = L_f v_c + \frac{\partial f}{\partial t} \quad (5.15)$$

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:

$$v_c^* = -\lambda L_f^+ e \quad (5.20)$$

$$v_c^* = -\frac{1}{2} \lambda (L_f + L_f^+)^+ e \quad (5.21)$$

5.5 Conducerea în timp real a liniei de prelucrare utilizând un sistem VS fix

Conducerea în timp real a sistemului complex format din linia de prelucrare flexibilă Festo MPS-200 în colaborare cu robotul Pioneer P3-DX și manipulatorul robotic Pioneer 5DOF Arm are la bază, pe de o parte, conducerea procesului prin bucla de conducere aferentă automatelor programabile Siemens S7-300 cu procesoare 313C-2 DP și pe de altă parte, conducerea robotului mobil și a manipulatorului robotic.

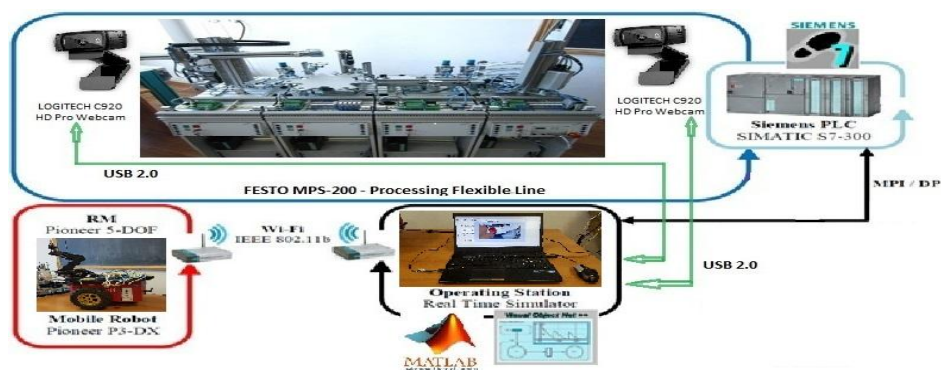


Fig. 5.5. – Structura de conducere și comunicație a liniei de prelucrare deservită de un sistem autonom și două sisteme VS fixe.

Comunicația pentru transmisia datelor video, cât și cea între aplicația de VS și cea de conducere sliding-mode a robotului au fost alese în așa fel încât să nu afecteze viteza de reacție și timpii de procesare ai aplicațiilor.

5.5.1 Aplicația de sincronizare și conducere video pentru sistemul VS fix

Pentru a realiza sincronizarea între momentul apariției unei piese care poate fi re prelucrată și declanșarea robotului mobil în vederea preluării piesei și poziționării acesteia la începutul liniei Festo, pentru re prelucrare, s-a implementat o aplicație în Matlab. Aplicația are la bază procesarea de imagine.

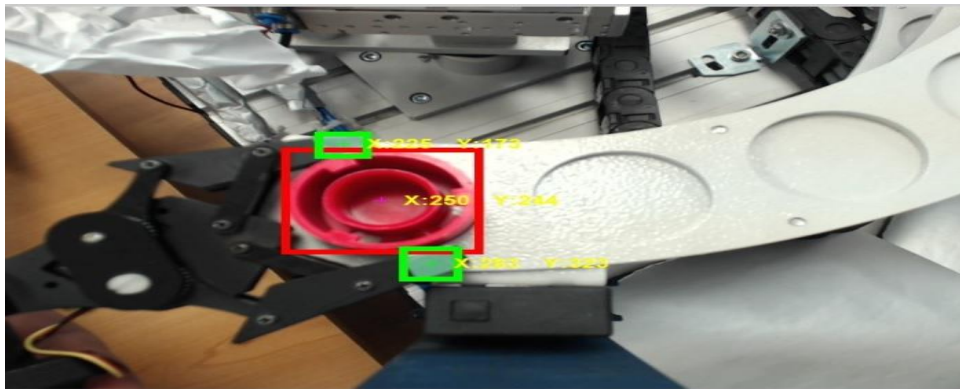


Fig. 5.6.c. - Recuperare piesă utilizând VS fix

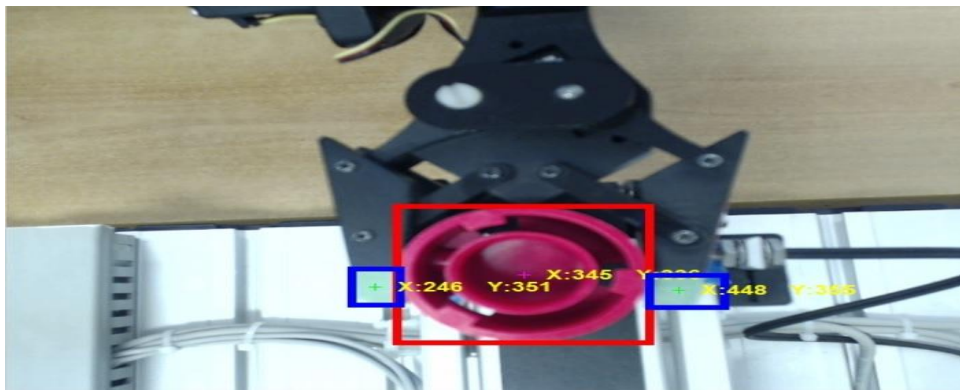


Fig. 5.8.c. - Returnare piesă utilizând VS fix

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

Structura prezentată anterior poate fi îmbunătățită în vederea micșorării 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 reprelucrat și un manipulator robotic Cyton Gamma 1500 pentru preluarea și reintroducerea pe linie a pieselor, în vederea reprelucrării.

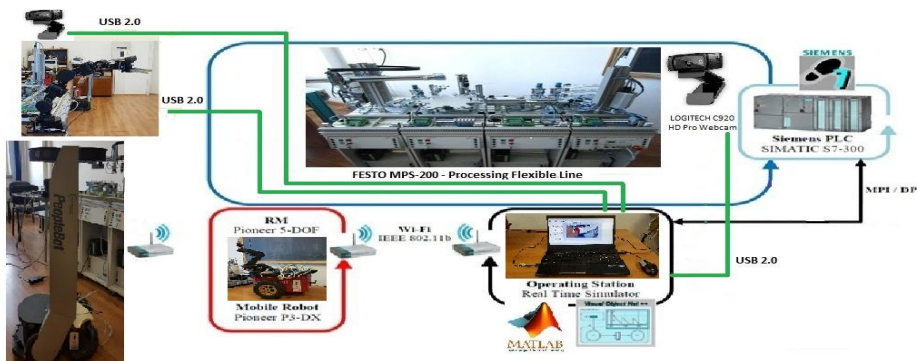


Fig. 5.10. - Structura de conducere și comunicație a liniei de prelucrare deservită de 3 sisteme autonome și sisteme VS fixe și mobile.

5.6.1 Aplicația de sincronizare și conducere video pentru sistemul VS mobil

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.



Fig. 5.11. - Robotul PeopleBot preluând piesa de reprocessat

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.

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



Fig. 5.14.c - Recuperare piesă utilizând VS mobil

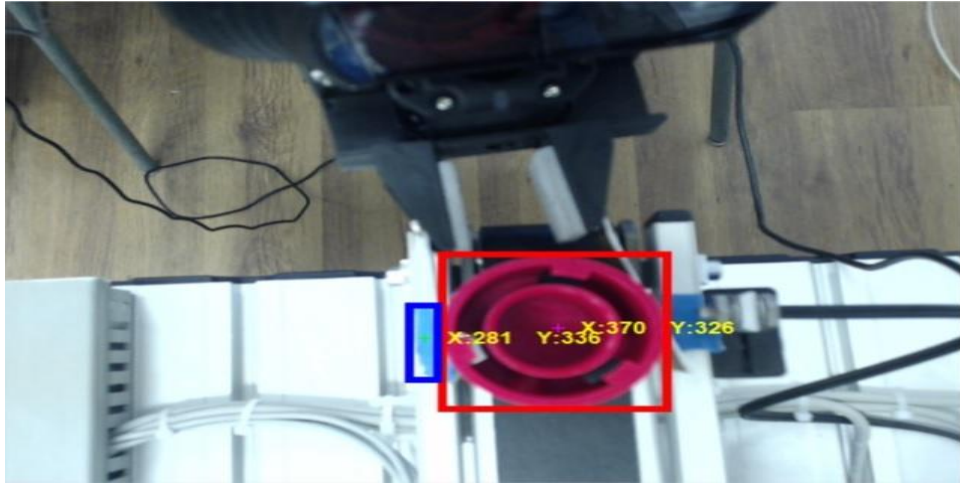


Fig. 5.15.c. - Returnare piesă pentru reprocessare

Capitolul 6

6.1 Contribuții

Contribuțiile revendicate în urma prezentei cercetări, diseminate și certificate prin lucrările publicate și care fac parte integrantă din proiectul UEFISCDI, PN-II-PT-PCCA-2013-4-0686 cu titlul “Prototipuri de sisteme robotice autonome destinate asistenței medico-sociale și deservirii unor procese de fabricație din metalurgie, ceramică, sticlă și industria de automobile” sunt următoarele:

- Stabilirea ipotezelor de lucru pentru linia mecatronică Festo MPS-200 deservită de sisteme autonome complexe, [PG1], [PG2], [PG3];
- Planificarea task-urilor aferente liniei mecatronice Festo MPS-200, [PG1], [PG2], [PG3];
- Modelarea cu rețele Petri discrete netemporizate și temporizate a liniei mecatronice Festo MPS-200, [PG4], [PG5];
- Modelarea cu rețele Petri hibride a liniei mecatronice Festo MPS-200 în colaborare cu sistemul autonom format din robotul mobil Pioneer 3-DX prevăzut cu manipulator robotic cu 5 grade de libertate Pioneer 5DOF Arm, [PG1], [PG3], [PG7];
- Modelarea cu rețele Petri hibride a liniei mecatronice Festo MPS-200 în colaborare sistemul autonom complex format din robotul mobil Pioneer prevăzut cu manipulator robotic cu 5 grade de libertate Pioneer 5DOF Arm, robotul mobil PeopleBot, și manipulatorul robotic Cyton Gamma 1500, pentru returnarea pieselor, [PG10].

- Simularea în Syrphico a modelului SHPN obținut pentru linia mecatronică Festo MPS-200 în colaborare cu robotul mobil Pioneer 3-DX prevăzut cu manipulator robotic cu 5 grade de libertate Pioneer 5DOF Arm, [PG1], [PG3], [PG7];
- Simularea în Syrphico a modelului SHPN obținut pentru linia mecatronică Festo MPS-200 în colaborare cu robotul mobil Pioneer 3-DX prevăzut cu manipulator cu 5 grade de libertate Pioneer 5DOF Arm, robotul mobil PeopleBot, pentru transport și manipulatorul robotic Cyton Gamma 1500, pentru returnarea pieselor, [PG10];
- Simularea, utilizând MobileSim, a traiectoriei robotului mobil Pioneer 3-DX prevăzut cu manipulatorul cu 5 grade de libertate Pioneer 5DOF Arm deservind linia mecatronică Festo MPS-200, [PG1], [PG6];
- Alegerea trăsăturilor vizuale optime pentru utilizarea sistemelor VS fix și mobil, [PG8], [PG9], [PG11];
- Determinarea legii de conducere VS a manipulatorului robotic deservind linia mecatronică Festo MPS-200, [PG8], [PG9], [PG11];
- Implementarea structurii de comunicație și conducerea în timp real a liniei mecatronice în colaborare cu un robot mobil Pioneer 3-DX prevăzut cu manipulator robotic cu 5 grade de libertate Pioneer 5DOF Arm, [PG8], [PG9], [PG11];
- Implementarea structurii de comunicație și conducerea în timp real a liniei mecatronice Festo MPS-200 în colaborare cu un robot mobil Pioneer 3-DX prevăzut cu manipulator robotic cu 5 grade de libertate Pioneer 5DOF Arm, un robot PeopleBot pentru transport și un manipulator Cyton Gamma 1500 pentru returnare piese, [PG8], [PG9], [PG11];
- Testarea în laborator a tehnologiei VS fix și mobil pentru manipuloare robotice deservind linia de prelucrare, [PG8], [PG9], [PG11];

6.2 Diseminarea rezultatelor

Modelele elaborate și testate și contribuțiile din cadrul prezentei teze au fost diseminate prin publicarea în diverse articole din cadrul conferințelor și revistelor, după cum urmează:

[PG1] **Petrea, G.**, Filipescu, A., Minca, E., Voda, A., Filipescu, A., Jr., Serbencu, A., - Hybrid Modelling Based Control of a Processing/Reprocessing Line Served by an Autonomous Robotic System, International Conference on System Theory, Control and Computing, Joint Conference SINTES 16, SACCS 12, SIMSIS 16, Proceedings of the 17th IEEE, International Conference on System Theory, Control and Computing, ICSTCC2013 11-13, Oct. Sinaia, 2013, pp: 410-415, ISBN: 978-1-4799-2228-4/13/\$31.00 ©2013 IEEE(indexată WoS).

[PG2] Filipescu, A., Jr., **Petrea, G.**, Filipescu, A., Minca, E., Filipescu, S., - Discrete modelling based control of a processing/reprocessing mechatronics line served by an

autonomous robotic system, The 4th International Symposium on Electrical, and Electronics Engineering, ISEEE 2013, 11-13, Oct, Galati, 2013, ISBN: 978-1-4799-2442-4/13/\$31.00 ©2013 IEEE(indexată WoS).

[PG3] Filipescu, A., Jr., **Petrea, G.**, Filipescu, A., Filipescu, S., - Modeling and Control of a Mechatronics System Served by a Mobile Platform Equipped with Manipulator, Proceedings of the 33rd Chinese Control Conference, July 28-30, 2014, Nanjing, China, pp: 6577-6582, ISBN:978-988-15638-4-2, IEEE Catalog number CFP:1441A-CDR(indexată WoS).

[PG4] Filipescu, A., Minca, E., Filipescu, A., Jr., **Petrea, G.**, - Modeling and Control of Assembly/Disassembly Mechatronic Line Served by Robotic Manipulator Mounted on Mobile Platform The Annals of "Dunărea de Jos" University of Galati Fascicle III, Year 2012: Volume 35, Number 1, Electrotechnics, Electronics, Automatic Control, Informatics, ISSN 1221-454X, pp:17-22.

[PG5] **Petrea, G.**, Filipescu, A., Minca, E., Voda, A., Filipescu, A., Jr., - Hybrid Modelling Based Control of a Processing/Reprocessing Line Served by an Autonomous Robotic System, The Annals of "Dunărea de Jos" University of Galati Fascicle III, Year 2013, Volume 36, Number 1, pp:13-18, Electrotechnics, Electronics, Automatic Control, Informatics, ISSN 1221-454X.

[PG6] Dumitrașcu B., Filipescu A., Vodă A., Mincă E., Filipescu S., **Petrea G.** - Laser-based Obstacle Avoidance Algorithm for Four Driving/Steering Wheels Autonomous Vehicle - International Conference on System Theory, Control and Computing, Joint Conference SINTES 16, SACCS 12, SIMSIS 16, Proceedings of the 17th IEEE, International Conference on System Theory, Control and Computing, ICSTCC2013 11-13, Oct. Sinaia, 2013, pp: 187-192, ISBN: 978-1-4799-2228-4/13/\$31.00 ©2013 IEEE(indexată WoS).

[PG7] Filipescu, A., Șolea, R., **Petrea, G.**, Cernega D., C., Filipescu, A., Jr., Ciubucciu, G., - SHPN Modelling, Visual Servoing and Control of WMR with RM Integrated into P/RML, International Conference on System Theory, Control and Computing, ICSTCC2017 19-21, Oct. Sinaia, 2017 (indexată WoS).

[PG8] Nicolau V., Andrei M., **Petrea, G.**, - Aspects of Image Compression using Neural Networks for Visual Servoing in Robot Control, The 5th International Symposium on Electrical and Electronics Engineering (ISEEE 2017), 20-22, Oct. Galați, 2017 (indexată WoS).

[PG9] **Petrea, G.**, Nicolau V., Andrei M., - Multiprocessor visual servoing system for mobile robots servicing mechatronic lines, IEEE 23rd International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME), 26-29, Oct. Constanța, 2017 (indexată WoS).

Lucrări în recenzie:

[PG10] **Petrea, G.**, Filipescu, A., Mincă, E., Filipescu, A. Jr., - Hybrid modelling and simulation of a P/RML with integrated complex autonomous systems, International Conference on System Theory, Control and Computing, ICSTCC2018, 10-12 Oct. Sinaia, 2018

[PG11] **Petrea, G.**, Filipescu, A., Șolea, R., Filipescu, A. Jr - Visual servoing systems based control of complex autonomous systems serving a P/RML, International Conference on System Theory, Control and Computing, ICSTCC2018, 10-12 Oct. Sinaia, 2018