

Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

Școala doctorală de inginerie



TEZĂ DE DOCTORAT
CONTRIBUȚII LA ACȚIONAREA
ELECTRICĂ A LINIILOR DE
FABRICAȚIE FLEXIBILĂ ȘI A
ROBOȚILOR INTEGRAȚI
Rezumat

Doctorandă,

Ing. Adriana FILIPESCU

Președinte,

Prof. univ. dr. ing. Luminița DUMITRIU

Conducător științific:

Prof. univ. dr. ing. Grigore FETECĂU

Referenți științifici:

Prof. univ. dr. ing. Mihai IORDACHE

Prof. univ. dr. ing. Emil CAZACU

Prof. univ. dr. ing. Marian GĂICEANU

Seria I 3. Inginerie electrică, Nr. 4

GALAȚI

2017

Seriile tezelor de doctorat sustinute 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.....	3
Notații și abrevieri.....	5
Introducere.....	5
Linii de fabricație flexibilă deservite de sisteme robotice mobile.....	5
Obiectivele tezei.....	6
Capitolul 1. Contribuții la acționarea electrică și conducerea roboților mobili și a manipuletoarelor robotice	7
1.1. Determinarea modelului cinematic al WMRs.....	7
1.2. Conducerea SM cu timp continuu a WMRs cu două roți motoare și una sau două roți libere (WMR 2DW/1FW, 2DW/2FW).....	7
1.3. Conducerea SM cu timp discret a WMRs cu două roți motoare și una sau două roți libere.....	7
1.4. Comunicația și conducerea WMRs 2DW/1FW, Pioneer 3-DX și 2DW/2FW, PatrolBot, utilizând pachete software dedicate.....	8
1.5. Testarea metodelor de conducere a WMRs, 2DW/1FW Pioneer 3-DX și 2DW/2FW PatrolBot, utilizând pachete software dedicate.....	8
1.6. Simularea în bucla închisă, conducerea SM-TT a WMR 2DW/2FW, PatrolBot.....	8
1.7. Rezultate de simulare în buclă închisă la conducerea SM-TT cu timp continuu a WMR 2DW/1FW, Pioneer 3-DX	9
1.8. Conducerea SM-TT, în timp real, a WMR 2DW/1FW, Pioneer 3-DX	10
Capitolul 2. Acționarea și conducerea FMLs, de A/D și de P/R. Particularizare la FMMLs, A/DML și P/RML	10
2.1. Structura unei FML cu roboți integrați.....	11
2.2. Organizarea ierarhică a unei FML.....	11
2.3. Funcțiile unei FML.....	11
2.4. Conducerea unei FML.....	12
2.5. Performanțele și optimizarea FML.....	12
2.6. Structura și acționarea FMML, A/DML HERA&HORSTMANN	12
2.7. Structura și acționarea FMML, P/RML FESTO MPS-200.....	14
Capitolul 3, FMMLs deservite de WMRs echipați cu RMs, ipoteze de lucru, atribuirea și planificarea taskurilor, echilibrarea	15
3.1. Ipoteze preliminare privind A/DML deservită de un WMR echipat cu RM.....	15
3.2. Model și criteriu de optimizare pentru A/DLB.....	16
3.3. Particularizare la FMML, A/DML HERA&HORSTMANN, deservită de un WMR echipat cu RM.....	16
3.4. Particularizare la FMML, A/DML HERA&HORSTMANN, deservită de doi WMRs.....	17
3.5. WMR echipat cu RM integrat în FMML, P/RML FESTO MPS-200.....	18
Capitolul 4. Modelarea hibridă și simularea FMMLs, A/DML și P/RML, deservite de WMRs echipați cu RMs	19
4.1. Modelul SHPN asociat A/DML deservită de un WMR echipat cu RM.....	19
4.2. Simularea modelului SHPN.....	21
4.3. Două sisteme robotice mobile integrate în A/DML.....	22

4.4. Modelul SHPN pentru FMML, P/RML FESTO MPS-200 deservită de un WMR echipat cu RM.....	23
-------------------------------------------------------------------------------------------	----

Capitolul 5. Acționarea și conducerea în timp real a FMMLs cu roboți integrați.....24

5.1. Conducerea A/DML, HERA&HORSTMANN, deservită de un WMR echipat cu un RM..	24
5.2. Conducerea A/DML HERA&HORSTMANN deservită de doi WMRs operând în paralel, sincron	24
5.3. Conducerea FMML, P/RML FESTO MPS-200 deservită de un WMR echipat cu RM....	26

Capitolul 6. Concluzii finale, contribuții, direcții de cercetare viitoare, diseminarea rezultatelor.....28

6.1. Concluzii finale.....	28
6.2. Contribuții.....	28
6.3. Direcții de cercetare viitoare.....	30
6.4. Diseminarea rezultatelor.....	30

Notății și abrevieri

A/D-assembly/disassembly (asamblare/dezasamblare);

A/DML-assembly/disassembly mechatronics line (linie de mecatronica de asamblare/dezasamblare);

ALB-assembly line balancing (echilibrare linie de asamblare);

A/DLB-assembly/disassembly line balancing (echilibrare linie de asamblare/dezasamblare);

API-application programming interface (interfață pentru programarea de aplicații);

ARIA-advanced robotic interface for applications (interfață robotică avansată pentru aplicații);

CAM-computer aided manufacturing (fabricație asistată de calculator);

CAD-computer aided design (proiectare asistată de calculator);

CAE-computer aided engineering (inginerie asistată de calculator);

CAQ-computer aided quality (calitate asistată de calculator);

CAP-computer aided planning (planificare asistată de calculator);

CAS-computer aided service (întreținere asistată de calculator);

CNC-computer numerical control (control numeric pe calculator);

CT-cycle time (timp de ciclu);

DES-discrete events system (sistem cu evenimente discrete);

DLB-disassembly line balancing (echilibrare linie de dezasamblare);

DOF-degree of freedom (grad de libertate);

DV-decision variable (variabilă de decizie);

DW-driving wheel (roată motoare);

ED-electric drive (acționare electrică);

FML-flexible manufacturing line (linie de fabricație flexibilă);

FMML-flexible manufacturing mechatronics line (linie de mecatronică de fabricație flexibilă);

FMC-flexible manufacturing cell (celulă de fabricație flexibilă);

FW-free wheel (roată liberă);

GUI-graphic user interface (interfață grafică utilizator);

HPN-hybrid Petri net (rețea Petri hibridă);

I/O-input/output (intrare/ieșire);
LB-line balancing (echilibrare linie);
ML-mechatronics line (linie de mecatronica);
MPI-message passing interface (interfață pentru mesaje);
MPS-mechatronics processing system (sistem mecatronic de procesare);
NR-net revenue (valoare netă obținută din vânzare sau reutilizare);
OOP-object oriented programming (programare orientată pe obiecte);
PC-Personal computer;
PLC-programmable logic controller (automat programabil);
PN-Petri net (rețea Petri);
P/R-processing/reprocesing (prelucrare/reprelucrare);
P/RML-processing/reprocesing mechatronics line (linie de mecatronică de prelucrare/reprelucrare);
Profibus DP-professionl field bus decentralized periphery (magistrală profesională pentru mediu industrial și periferie distribuită);
Profinet-professional network (protocol de comunicație în rețea pe magistrala profibus DP);
RM-robotic manipulator (manipulator robotic);
SHPN-synchronised hybrid Petri net (retea Petri hibridă sincronizată);
SIMATIC-SIEMENS family controllers for automation (familie de controller SIEMENS pentru automatic);
SIMATIC STEP 7-software package for SIEMENS controllers (pachet software pentru programarea PLC-urilor SIEMENS);
SP-strategic planning (planificare strategică);
SIPs-server information packets (pachete de informare server);
SM-sliding-mode (mod alunecător);
SMC-sliding-mode control (conducere în mod alunecător);
SM-TT-sliding mode-trajectory tracking (conducere cu mod alunecător-urmărirea traectoriei);
TC-task cycle (task al ciclului);
TPN-timed Petri net (rețea Petri temporizată);
THPN-timed hybrid Petri net (rețea Petri hibrida temporizată);
TP-task planning (planificare taskuri);
TT-trajectory tracking (urmărirea traectoriei);
WMR-wheeled mobile robot (robot mobil cu roți).

Introducere

Linii de fabricație flexibilă deservite de sisteme robotice mobile

Abordarea care se propune în teză răspunde noilor concepte de planificare și conducere a proceselor de fabricație flexibilă, de asamblare/dezasamblare (A/D), și de prelucrare/reprelucrare (P/R), pe sisteme de laborator, linii de mecatronică deservite de platforme robotice mobile echipate cu manipolatoare. Aceste structuri de laborator au corespondent în industria reală, mai ales, procesele de asamblare și prelucrare din industria de automobile, la asamblarea caroseriei, a cutiei de viteze și a blocului motor. La procesele existente, manipolatoarele robotice au poziții fixe. Prin cercetarea din teză, s-a dorit îmbunătățirea gradului de automatizare și eficientizarea acestor linii de producție, prin utilizarea roboților mobili echipați cu manipolatoare. Astfel, liniile de asamblare devin

reversibile, fiind capabile să facă și dezasamblare, dezasamblare care permite recuperarea și reutilizarea componentelor și subansamblelor, în eventualitatea că produsul final nu corespunde standardelor de calitate. Liniile de prelucrare devin capabile să reproceseze componente care nu corespund calitativ.

Obiectivele tezei

- Modelarea, acționarea și conducerea roboților mobili (WMRs) echipați cu manipuloare robotice (RMs);
- Planificarea taskurilor, echilibrarea (optimizarea), modelarea hibridă, simularea, acționarea și conducerea liniei de mecatronică de asamblare/dezasamblare (A/DML) deservită de un robot mobil echipat cu manipulator. Cazul general. Particularizare la A/DML HERA&HORSTMANN, deservită de un WMR, Pioneer 3-DX, echipat cu un RM, Pioneer 5-DOF Arm;
- Testarea și validarea în laborator a tehnologiei hibide de fabricație flexibilă pe A/DML, HERA&HORSTMANN, deservită de un WMR echipat cu RM;
- Planificarea taskurilor, echilibrarea (optimizarea), modelarea hibridă, simularea, acționarea și conducerea liniei de mecatronică de asamblare/dezasamblare (A/DML) deservită de doi roboți mobili echipați cu manipuloare. Cazul general. Particularizare la A/DML, HERA&HORSTMANN, deservită de doi roboți mobili colaborativi, lucrând în paralel, unul dintre ei, Pioneer 3-DX, echipat cu un RM, Pioneer 5-DOF Arm, utilizat pentru manipulare, și un al doilea, PatrolBot, utilizat pentru transport. Testare în laborator;
- Planificarea taskurilor, modelarea hibridă, simularea, acționarea și conducerea liniei de mecatronică, de procesare/reprocesare (P/RML), FESTO MPS-200, deservită de un WMR, Pioneer 3-DX, echipat cu un RM, Pioneer 6-DOF Arm;
- Testarea și validarea în laborator a tehnologiei hibide de fabricație flexibilă pe P/RML, FESTO-MPS 200, deservită de un WMR echipat cu RM;

Capitolul 1

Contribuții la acționarea electrică și conducerea roboților mobili și a manipuloarelor robotice

În acest capitol se prezintă acționarea și conducerea roboților mobili (WMRs) cu două roți motoare și una sau două roți libere (2DW/1FW și 2DW/2FW), conducere bazată numai pe modelul cinematic. De precizat, că modelul cinematic este identic, atât pentru WMR 2DW/1FW, cât și pentru 2DW/2FW. Motivația utilizării numai a modelului cinematic constă în faptul că acești roboți integrați în liniile de mecatronică nu necesită transportul și manipularea de sarcini mari iar conducerea în buclă închisă nu reclamă anumite proprietăți de robustețe. La manipuloarele robotice care echipează platformele robotice, conducerea este una în buclă deschisă, datorită aceluiași motive, expuse mai sus pentru roboții mobili. Modelul cinematic descrie mișcarea robotului și nu ia în calcul forțele care acționează asupra lor. Aceste modele au fost folosite pentru proiectarea a două structuri sliding-mode (Sliding-Mode Control-SMC) pentru conducerea trajectory-tracking (TT) a roboților mobili 2DW/1FW și 2DW/2FW, cu timp continuu și cu timp discret. Testarea prin simulare și în timp real a

acestor structuri de conducere s-a făcut pentru WMR 2DW/1FW, Pioneer 3-DX echipat cu RM, Pioneer 5-DOF Arm și 2DW/2FW, PatrolBot. Aceste sisteme robotice vor fi integrate și vor deservi A/DML și P/RML.

1.1. Determinarea modelului cinematic al WMRs

Se consideră WMR cu 2 roți motoare și una sau două libere (2DW/1FW sau 2DW/2FW) prezentat în Fig.1.1, caracterizat de variabila generalizată, $q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$. Se presupune că deplasarea robotului este fără alunecare, astfel încât WMR este supus numai constrângerilor nonholonomice descrise de ecuația

$$A(q) \cdot \dot{q} = 0$$

unde $A(q)$ este matricea asociată constrângerilor, iar \dot{q} este derivata variabilei generalizate.

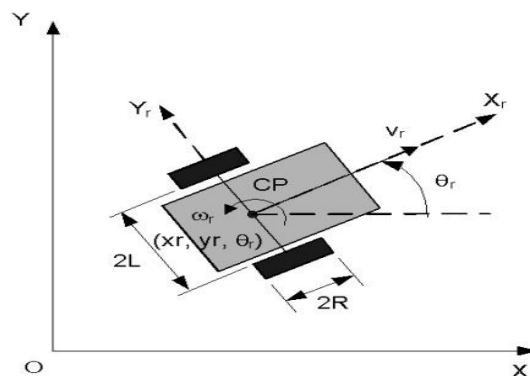


Fig. 1.1. Modelul cinematic al WMR cu 2DW/1FW sau 2DW/2FW

1.2. Conducerea SM cu timp continuu a WMRs cu două roți motoare și una sau două roți libere (WMR 2DW/1FW, 2DW/2FW)

Arhitectura conducerii sliding-mode în timp continuu a WMRs cu 2DW/1FW sau 2DW/2FW este prezentată în Fig.1.2. Această arhitectură de conducere permite robotului să urmărească o traiectorie dorită cu un profil de viteză impus.

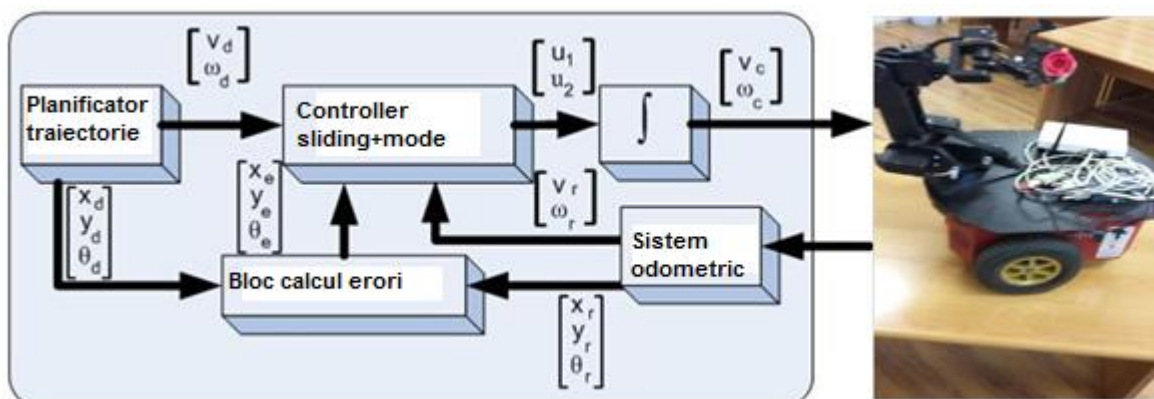


Fig.1.2. Arhitectura conducerii SM a WMR 2DW/1FW, Pioneer 3-DX

1.3. Conducerea SM cu timp discret a WMRs cu două roți motoare și una sau două roți libere

Structura de conducere, Fig.1.4, primește de la modulul de planificare a traiectoriei, viteza liniară și viteza unghiulară dorite. De asemenea, primește erorile de poziționare de la

modulul de calcul al erorilor și calculează comanda pentru viteza liniară și viteza unghiulară. Conducerea sliding-mode cu timp discret a WMR PatrolBot are structura din Fig.1.4.

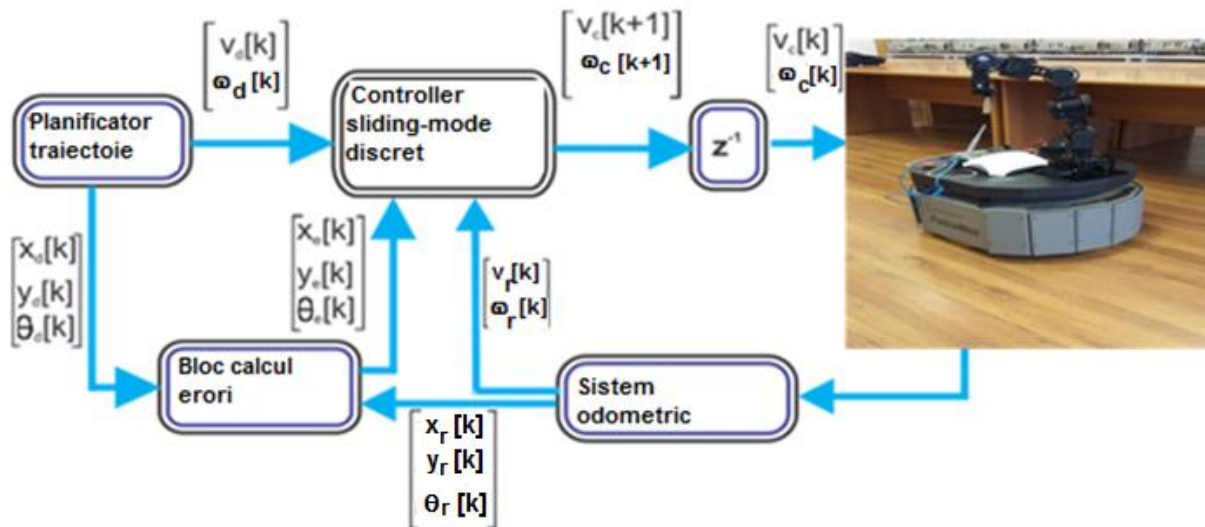


Fig.1.4. Arhitectura conducerii SM a WMR 2DW/2FW, PatrolBot

1.4. Comunicația și conducerea WMRs 2DW/1FW, Pioneer 3-DX și 2DW/2FW, PatrolBot, utilizând pachete software dedicate

Softul ARIA realizează conectarea automată la simulatorul MobileSim în cazul în care nu este detectat nici un robot conectat la portul COM1. Simulatorul are implementate modelele cinematice ale WMRs, funcții pentru simularea sonarelor și laserelor, care sunt folosite pentru a simula comportamentul unui WMR real. Programul scris în C++ apelează funcțiile ARIA în cazul în care se dorește trimiterea unor comenzi către simulator sau citirea datelor simulate. Protocolul de comunicație dintre robotul mobil și un controller exterior se desfășoară pe o linie serială, într-o structură *client-server*, în care WMR este *server* și controllerul este *client*.

1.5. Testarea metodelor de conducere a WMRs, 2DW/1FW Pioneer 3-DX și 2DW/2FW PatrolBot, utilizând pachete software dedicate

Roboții mobili 2DW/1FW Pioneer 3-DX și 2DW/2FW PatrolBot sunt roboți conduși diferențial și echipați cu sonare. Robotul mobil Pioneer 3-DX este echipat cu un braț articulată cu 5 grade de libertate și un gripper. Brațul robotului nu este prevăzut cu senzori, iar comanda brațului poate fi realizată doar în buclă deschisă.

1.6. Simularea în buclă închisă, conducerea SM-TT a WMR 2DW/2FW, PatrolBot

Urmărirea unei traiectorii liniare urmată de o traiectorie în formă de "S" a fost testată pentru WMR PatrolBot utilizând conducerea sliding-mode cu timp discret. Acești parametri au fost obținuți prin identificare în urma unor simulări succesive utilizând diferite valori ale parametrilor. Arhitectura de conducere folosită este prezentată în Fig.1.9.

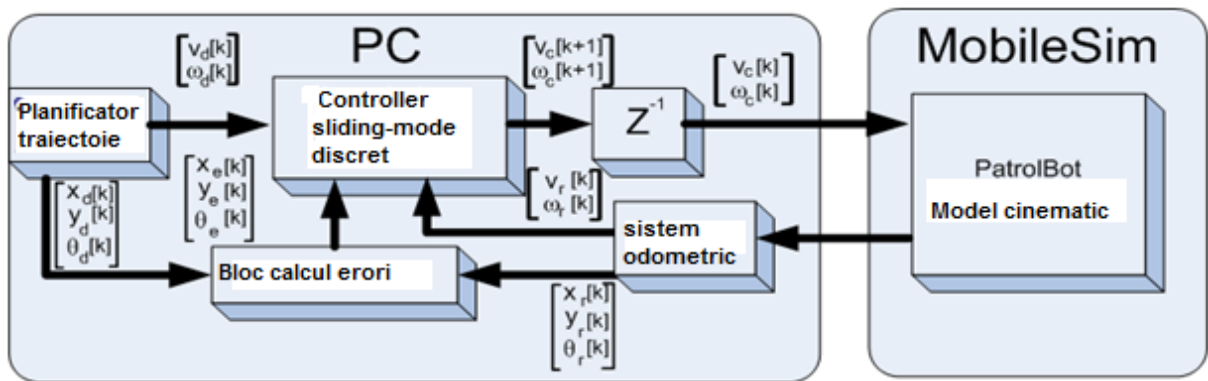


Fig.1.9. Arhitectura de conducere a WMR 2DW/2FW, PatrolBot, în MobileSim

1.7. Rezultate de simulare în buclă închisă la conducerea SM-TT cu timp continuu a WMR 2DW/1FW, Pioneer 3-DX

În această parte sunt reprezentate grafice rezultatele simulării, în buclă închisă, privind conducerea sliding mode cu timp continuu a WMR 2DW/1FW Pioneer 3-DX. Schema bloc în Simulink a structurii de conducere este în Fig.1.17.

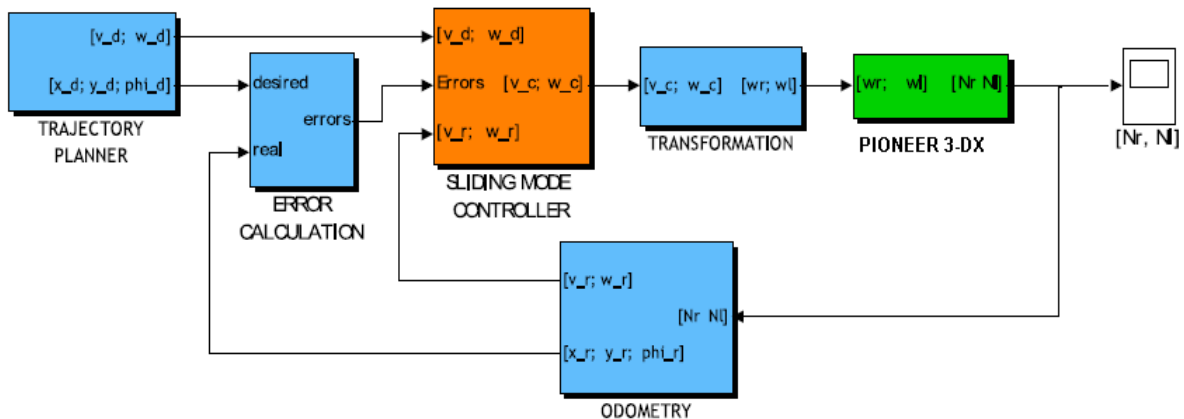


Fig.1.17. Schema bloc de simulare în buclă închisă la conducerea SM cu timp continuu a WMR 2DW/1FW Pioneer 3-DX

În Fig.1.18, este captată imaginea din MobileSim în momentul în care robotul reușește să ajungă în punctul din care a plecat la începutul simulării. În Fig.1.19, cu ajutorul pachetului Matlab, s-au reprezentat grafic erorile laterale x_e și y_e , eroarea unghiulară, θ_e , vitezele liniară și unghiulară.

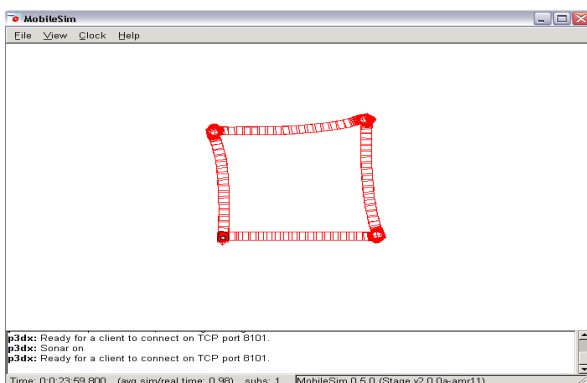


Fig.1.18. Traiectorie pătrat în MobileSim

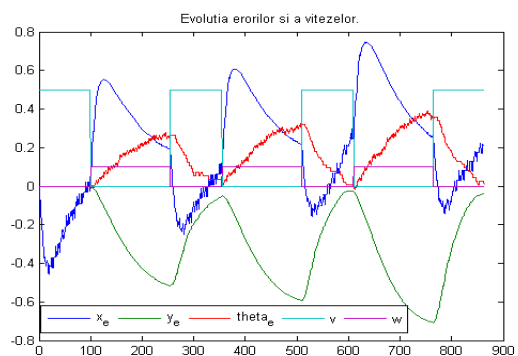


Fig.1.19. Erori și viteze

1.8. Conducerea SM-TT, în timp real, a WMR 2DW/1FW, Pioneer 3-DX

În acest subcapitol, sunt reprezentate grafic rezultatele implementării metodei de conducere SM, cu timp discret, în timp real, a robotului mobil Pioneer 3-DX. În Fig.1.30 este prezentată schema bloc de conducere în buclă închisă.

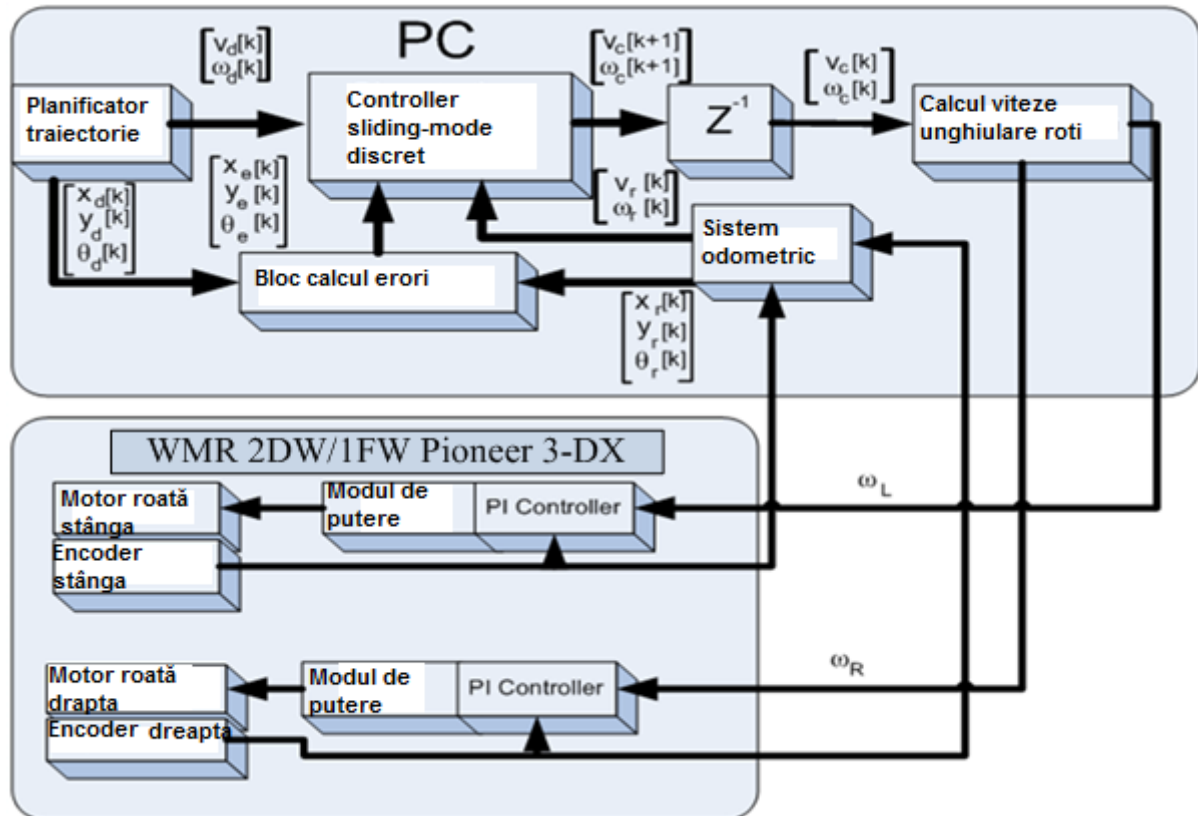


Fig.1.30. Structura de conducere SM în timp real

Capitolul 2

Aționarea și conducerea FMLs, de A/D și de P/R. Particularizare la FMMLs, A/DML și P/RML

În acest capitol, se prezintă structura, organizarea ierarhică, funcționalitățile, fluxurile de date și de informații în liniile de fabricație flexibilă, deservite de sisteme robotice mobile. Sunt făcute referințe bibliografice la. Tot aici, se prezintă structura, funcționalitatea, acționarea electrică și conducerea liniilor de mecatronică, de fabricație flexibilă deservite de sisteme robotice cu particularizare la A/DML, HERA&HORSTMANN, și P/RML, FESTO MPS-200. Detalierea lor se realizează în cadrul a trei secțiuni principale. În prima secțiune, se analizează o structură clasică de sistem flexibil de fabricație în conformitate cu literatura de specialitate, urmărind ca, în secțiunea următoare să se particularizeze structura clasică pe procese de asamblare, de dezasamblare și de prelucrare, procese care pot fi deservite de WMR echipat cu RM. Ultima secțiune este dedicată concluziilor prin care se pun în evidență contribuțiile privind analiza unei structuri flexibile de asamblare și deservirea acesteia în cadrul procesului de dezasamblare cu ajutorul un robot mobil echipat cu manipulator.

2.1. Structura unei FML cu roboți integrați

O linie de fabricație flexibilă reprezintă totalitatea stațiilor și celulelor de lucru, echipamentelor de măsură și achiziții de date, WMRs, RMs, sisteme de transport, de depozitare, de monitorizare și comandă, capabilă să execute sarcini pentru asamblarea de componente sau operații prelucrare, într-o manieră reconfigurabilă care să confere reversibilitate, repetabilitate și, nu în ultimul rând, flexibilitate. În Fig.2.1 este prezentată schema bloc a unei FML, capabilă să execute A/D și P/R deservită de roboți, aceasta fiind alcătuită din următoarele blocuri funcționale:

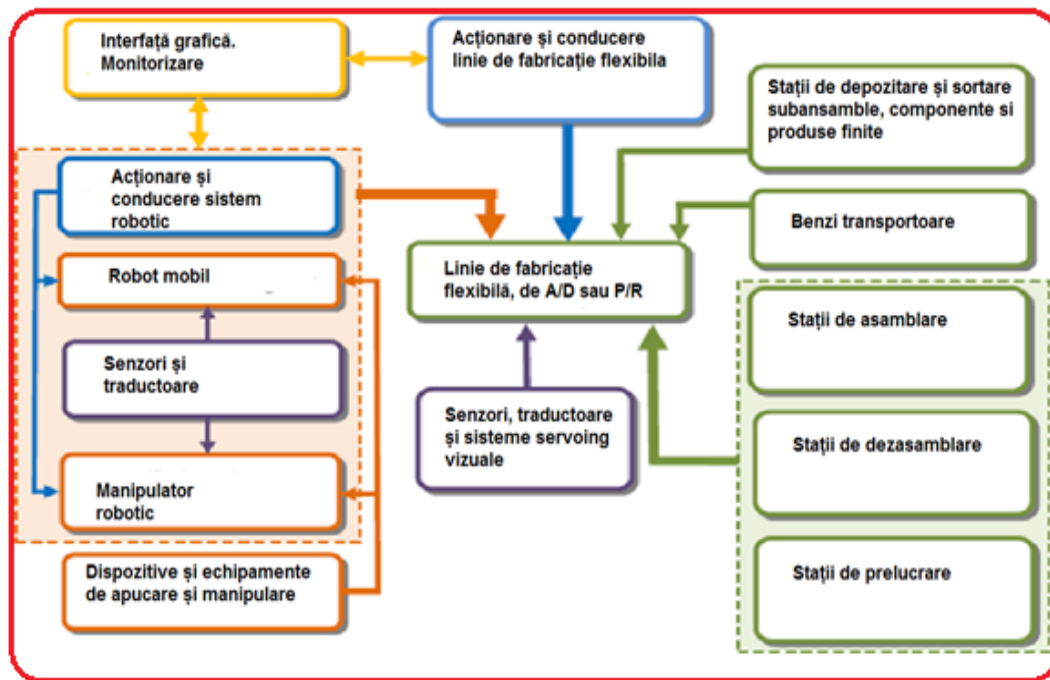


Fig.2.1. Structura unei FML de A/D și de P/R cu roboți integrați

2.2. Organizarea ierarhică a unei FML

Liniile de fabricație flexibilă (FMLs) sunt organizate pe nivele ierarhice, FML-urile de pe nivelele inferioare sunt destinate operațiilor primare de A/D sau P/R, pe când FML-urile de pe nivelele superioare sunt capabile de A/D și P/R complexe, de mare precizie și eficiență.

2.3. Funcțiile unei FML

Structura generală a unei FML, prezentată în Fig.2.1, permite evidențierea funcțiilor generale ale sistemului:

- funcția de prelucrare automată a pieselor sau subansamblelor;
- funcția de depozitare, transport și manipulare automată;
- funcția de comandă automată a tuturor componentelor sistemului și de supraveghere,
- funcția de prelucrare automată;
- funcția de depozitare, transport și manipulare;
- funcția de comandă, monitorizare, control și diagnostic dintr-un FML este realizată de subsistemul informațional prin fluxul informațional care se transmite în 2 sensuri: sensul direct, al informațiilor de comandă și sensul invers, al informațiilor de monitorizare, control și diagnostic.

2.4. Conducerea unei FML

Structurile și nivelele de organizare sunt puternic corelate cu nivelele de comandă și control, acestea se realizează sub forma unei rețele de echipamente (centralizate sau distribuite) de conducere care permit legarea într-un singur sistem a tuturor echipamentelor (AP, PLC, calculatoare etc.) care comandă mașinile-unelte, roboți industriali, sistemul de manipulare, transport și depozitare a pieselor, subansamblelor etc. Structura generală a subsistemului de comandă al FML se distribuie pe nivele ierarhice, numărul acestora depinzând de mărimea sistemului de fabricație flexibilă, de domeniul de aplicare și de numărul funcțiilor de fabricație flexibilă integrate sistem, Fig.2.3.

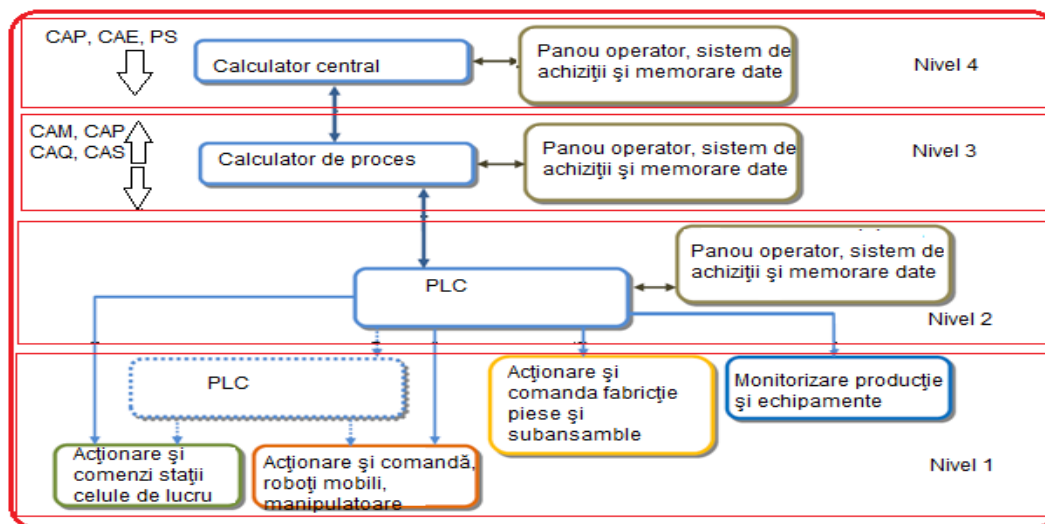


Fig.2.3. Structură de conducere multinivel a unei FML

2.5. Performanțele și optimizarea FML

O prima etapă în optimizare o constituie conducerea și optimizarea fluxurilor de activități (operații) care implică două faze: planificare fluxurilor și execuția acestora. O altă etapă de optimizare a FML o reprezintă creșterea gradului de flexibilitate a echipamentelor, dezvoltarea și perfecționarea utilajelor pentru a putea executa mai multe operații. Prin mărirea gradului de flexibilitate se reduc timpii în care, asupra produsului, pe linia de fabricație, se execută diverse operații care necesită timp (transport, manipulare, etc).

2.6. Structura și acționarea FMML, A/DML HERA&HORSTMANN

Structura sistemului flexibil de asamblare/dezasamblare HERA&HORSTMANN, Fig.2.5, este compusă din două mari subsisteme:

1. Subsistemul de A/D, structura hardware:
 - 5 stații (celule) de lucru (de A/D și depozitare) și o stație depozit produse finale asamblate;
 - sistem de transport dintre stațiile de A/D de tip benzi transportoare;
 - sistem de manipulare și depozitare produse finale asamblate, sistem de tip lift.
2. Subsistemul de acționare, achiziție de date și conducere a FMML, A/DML HERA&HORSTMANN.

Structura de acționare și conducere A/DML HERA&HORSTMANN, Fig.2.14, este de tip distribuită și este formată dintr-un PLC, SIEMENS Simatic S7-300 cu procesor din seria CP 314C-2 DP și modul de comunicație SIEMENS CP 343-2.



Fig.2.5. FMML cu 6 stații de lucru, A/DML HERA&HORSTMANN

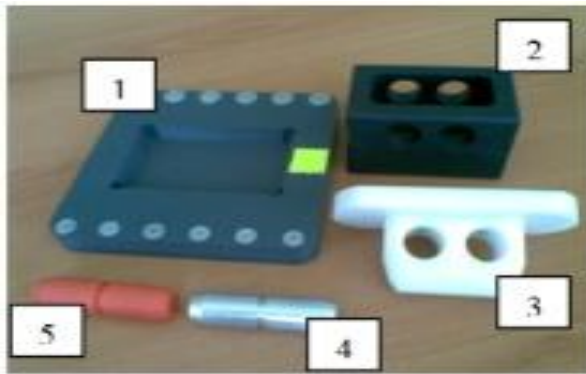


Fig.2.6. Componente



Fig.2.7. Produs final asamblat

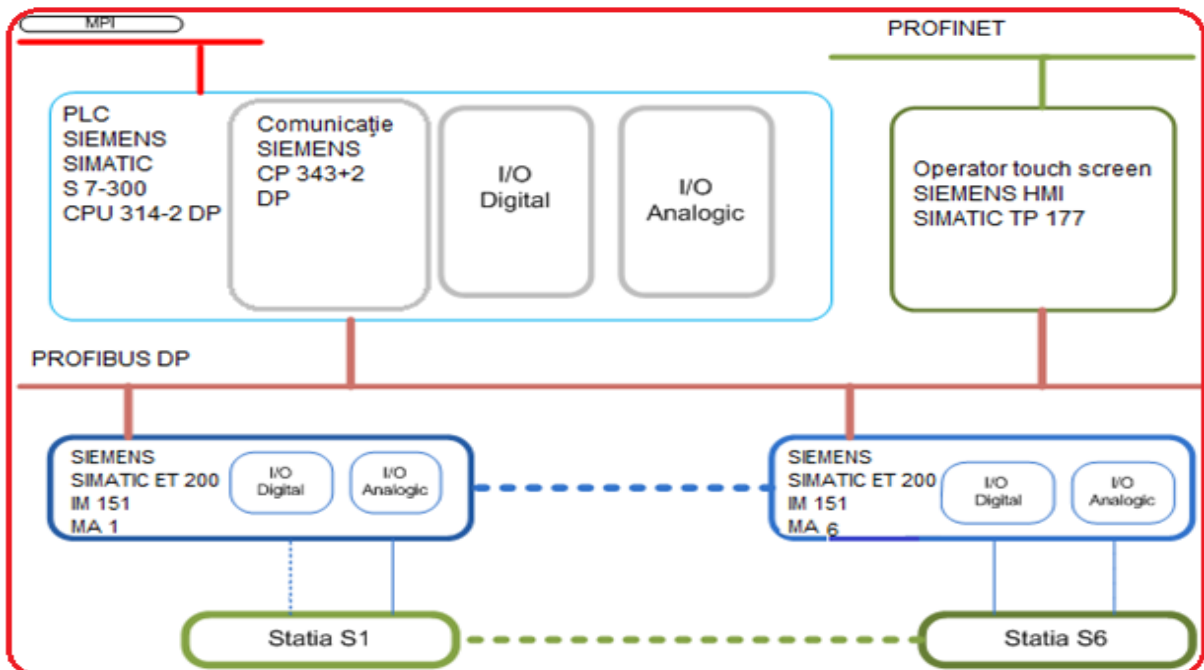


Fig.2.14. Acționarea, achiziția de date și conducerea FMML, A/DML HERA&HORSTMANN

Ca rezultat al optimizării gradului de flexibilitate al echipamentelor și introducerea structurilor robotice care deservesc A/DML și P/RML, se pot evidenția, în Fig.2.22, noi structuri care permit posibilitatea dez asamblării complete a unui produs care s-a asamblat, pe aceleași echipamente, dez asamblare deservită de WMRs echipați cu RMs sau re prelucrarea prin aducerea de către sistemul robotic mobil a produsului pentru a se aplica o a doua prelucrare.

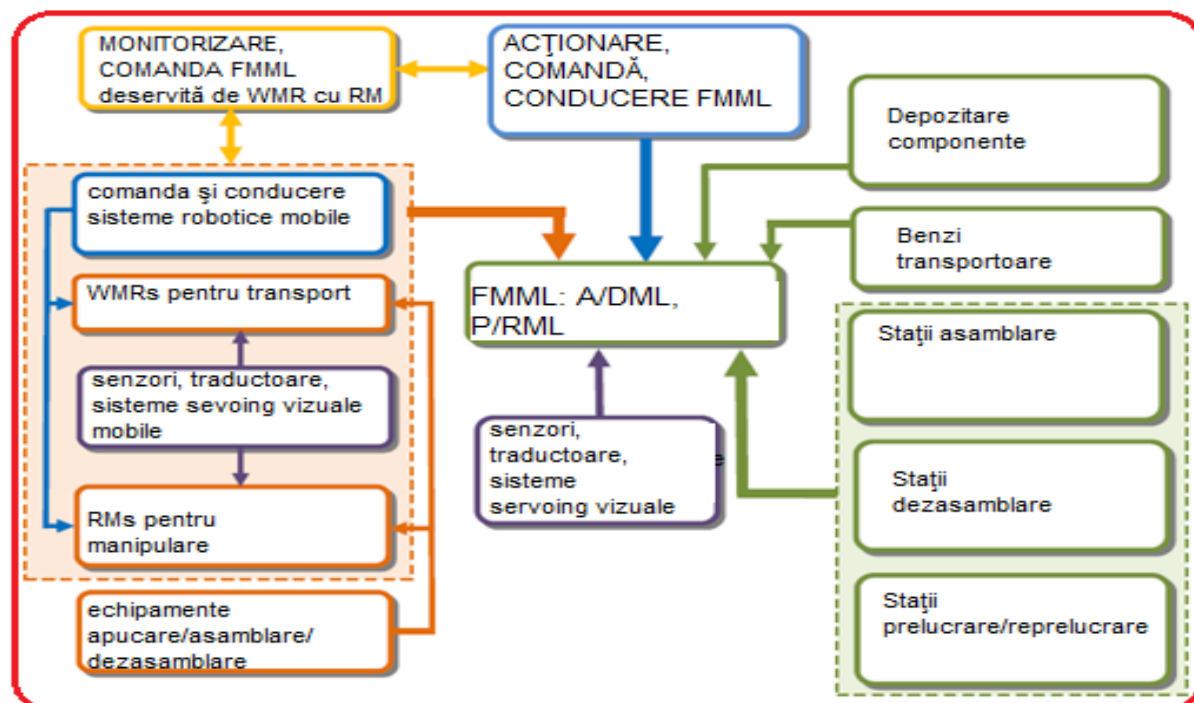


Fig.2.22. FMMLs, de A/D și P/R, deservite de WMRs echipați cu RMs

Capitolul 3

FMMLs deservite de WMRs echipați cu RMs, ipoteze de lucru, atribuirea și planificarea taskurilor, echilibrarea

În acest capitol se fac ipoteze preliminare, utile la definirea, planificarea taskurilor și echilibrarea FMMLs, A/DML și P/RML, cu roboți integrați. Mai întâi, pentru A/DML, deservită de una sau două platforme mobile, se tratează generalizarea la N stații de A/D. Urmează particularizarea la A/DML HERA&HORSTMANN cu 5 stații de A/D. Tot la A/DML este propus un criteriu de optimizare care poate fi asimilat și ca un criteriu de echilibrare a liniei pentru secvența de operații de dez asamblare. Maximizarea criteriului este echivalentă cu valorificarea maximală a componentelor, în secvența de dez asamblare, datorită reutilizării componentelor în procesul de fabricație.

3.1. Ipoteze preliminare privind A/DML deservită de un WMR echipat cu RM

A/DML deservită de WMR echipat cu RM în decursul fazelor de dez asamblare face ca FMML să devină reversibilă, fiind capabilă să reintroducă în ciclul de fabricație componente reutilizabile. Mai mult, WMR este utilizat în procesul de dez asamblare pentru a prelua componentele de la locațiile de dez asamblare și a le transporta la magaziile de depozitare.

3.2. Model și criteriu de optimizare pentru A/DLB

În acest subcapitol, bazat pe ipotezele de mai sus, se prezintă un model al procesului de dezasamblare care se constituie într-un criteriu de optimizare (echilibrare), a cărui extremizare (maximizare) reprezintă o soluție a problemei A/DLB (assembly/disassembly line balancing).

3.3. Particularizare la FMML, A/DML HERA&HORSTMANN, deservită de un WMR echipat cu RM

Descrierea procesului de dezasamblare deservit de un WMR echipat cu RM, Fig.3.3, pornește de la constatarea că produsul final este invalidat calitativ. Astfel, se declanșează procesul de dezasamblare. Dezasamblarea este un proces care se declanșează aleator, atunci când produsul asamblat nu trece testul de calitate. Un produs asamblat se consideră invalidat calitativ dacă în componența sa are cilindri de materiale diferite.

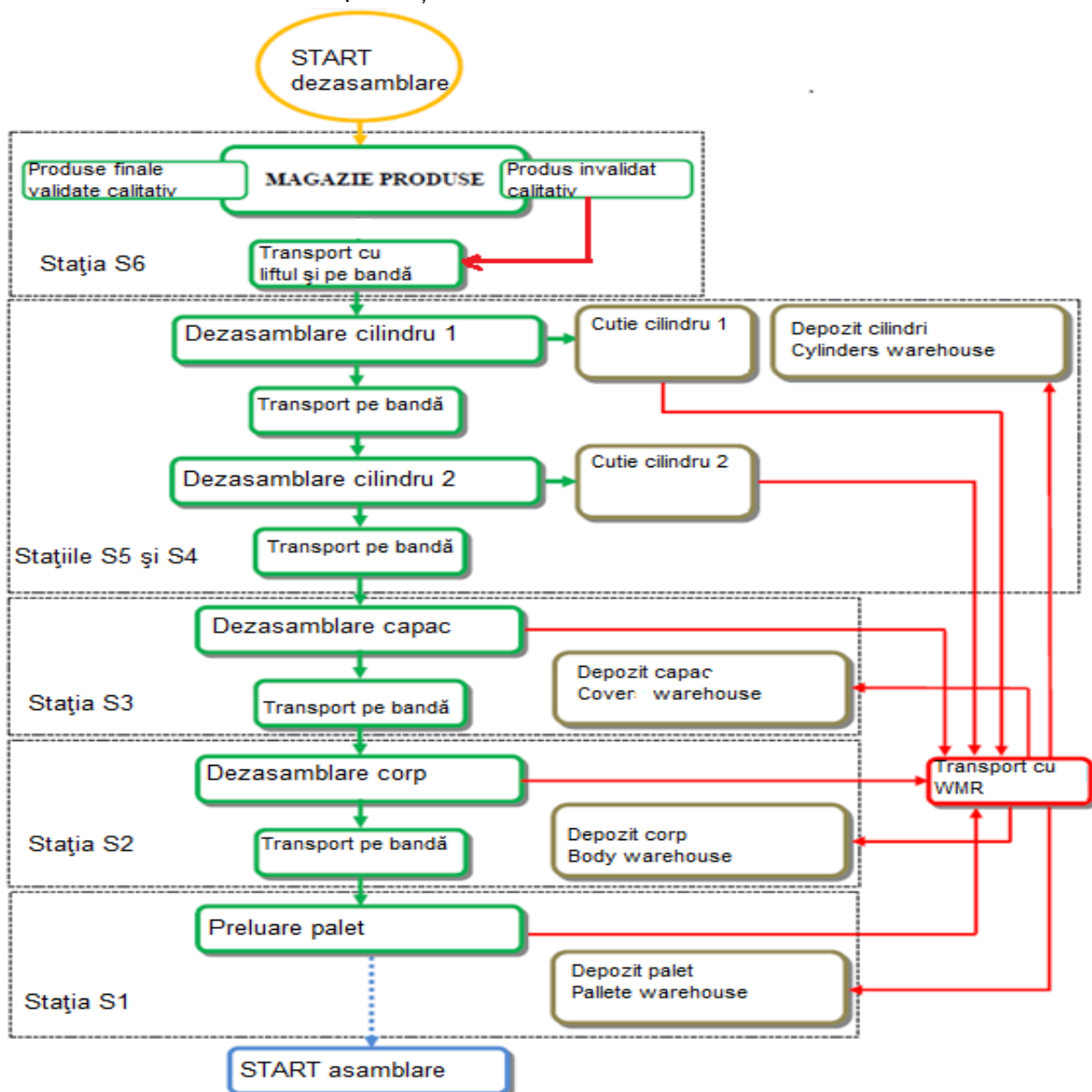


Fig.3.3. Procesul de dezasamblare pe FMML, A/DML HERA&HORSTMANN deservită de WMR echipat cu RM

Reprezentarea, Fig.3.6. prezintă împărțirea pe zone, distanțele parcurse de WMR și operațiile de poziționare ale RM de-a lungul A/DML, HERA&HORSTMANN. WMR transportă componenta, rezultată din dezasamblare, de la locația unde se produce dezasamblarea la magazia de depozitare corespunzătoare. La fiecare stație de lucru, RM preia componenta rezultată din dezasamblare și o depune la magazia de depozitare după ce WMR parcurge distanțele și se poziționează în dreptul locațiilor corespunzătoare. Astfel, componentele pot fi reintroduse în procesul de asamblare.

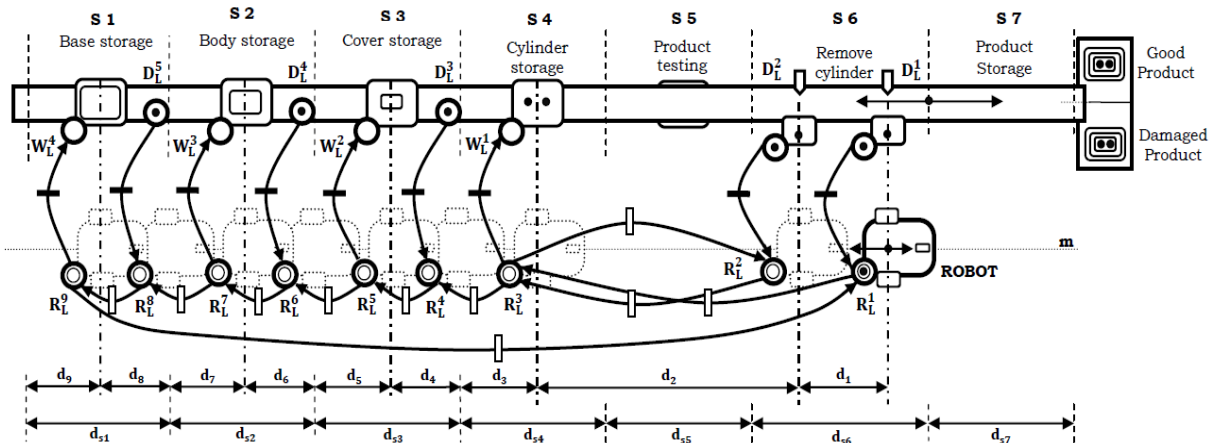


Fig.3. 6. Distanțele parcurse de WMR, poziționări RM

3.4. Particularizare la FMML, A/DML HERA&HORSTMANN, deservită de doi WMRs

A/DML HERA&HORSTMANN este deservită de doi WMRs, unul dintre ei echipat cu RM utilizat pentru manipulare, celălalt utilizat pentru transport. Ambii WMRs deservesc A/DML pe durata procesului de dezasamblare. Utilizarea a doi WMRs își are motivația într-o mai mare flexibilitate în manipularea și transportul componentelor provenite din dezasamblare, în ceea ce privește intervale mai mari de variație ale greutateților și dimensiunilor. Reprezentarea schematică generală a FMML, A/DML cu N stații de lucru de A/D, este prezentată în Fig.3.10 iar în Fig.3.11 este prezentată FMML, A/DML, HERA&HORSTMANN, deservită de doi WMRs, lucrând în paralel, colaborativ și sincron.

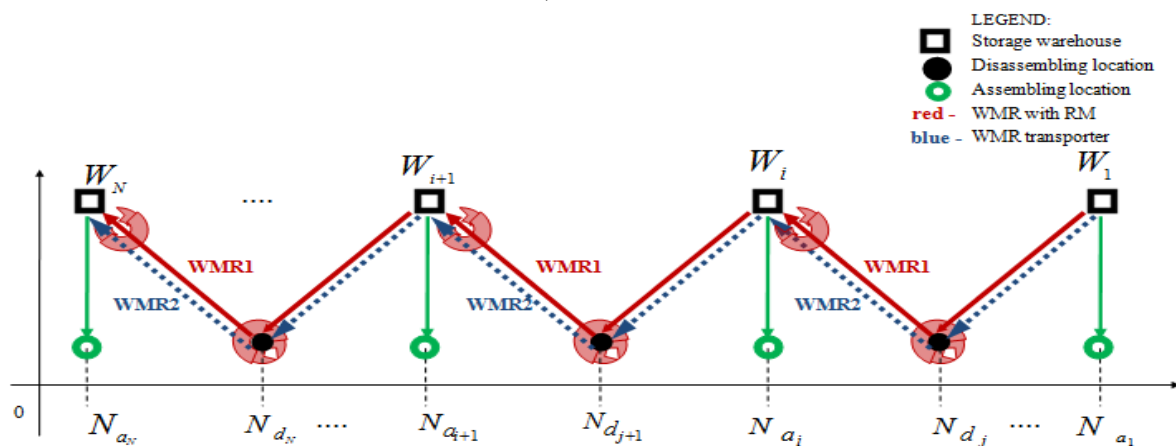


Fig.3.10. Reprezentarea A/DML cu N componente de A/D și magazii de depozitare

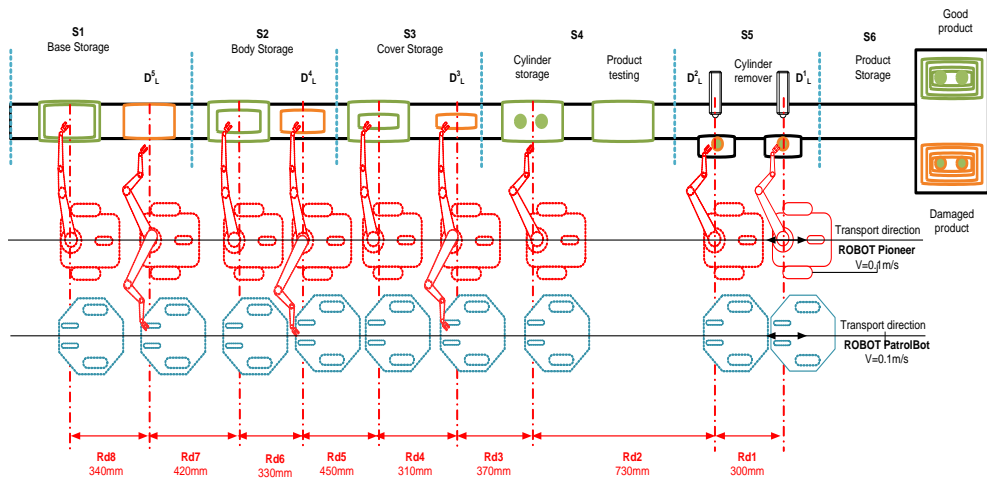


Fig.3.11. ADML cu 5 componente, deservită de doi WMRs, lucrând în paralel, unul dintre ei echipat cu RM

3.5. WMR echipat cu RM integrat în FMML, P/RML FESTO MPS-200

Configurația P/RML, FESTO MPS-200, conține 4 stații de lucru care procesează o piesă prin execuția mai multor taskuri cum ar fi: manipulare, sortare, depozitare, găurire, alezare, acumulare. Două sisteme servoing vizuale sunt plasate pe prima și ultima stație de lucru, prin intermediul cărora se execută operațiunile de preluare și depozitare piesă. În Fig.3.15, sunt prezentate secțiunile de traiectorie și distanțele pe care le parcurge WMR echipat cu RM pentru a deservi FMML, P/RML FESTO MPS-200. Se propune planificarea taskurilor aferente liniei flexibile FMML, P/RML FESTO MPS-200, ilustrată în fig.3.16.

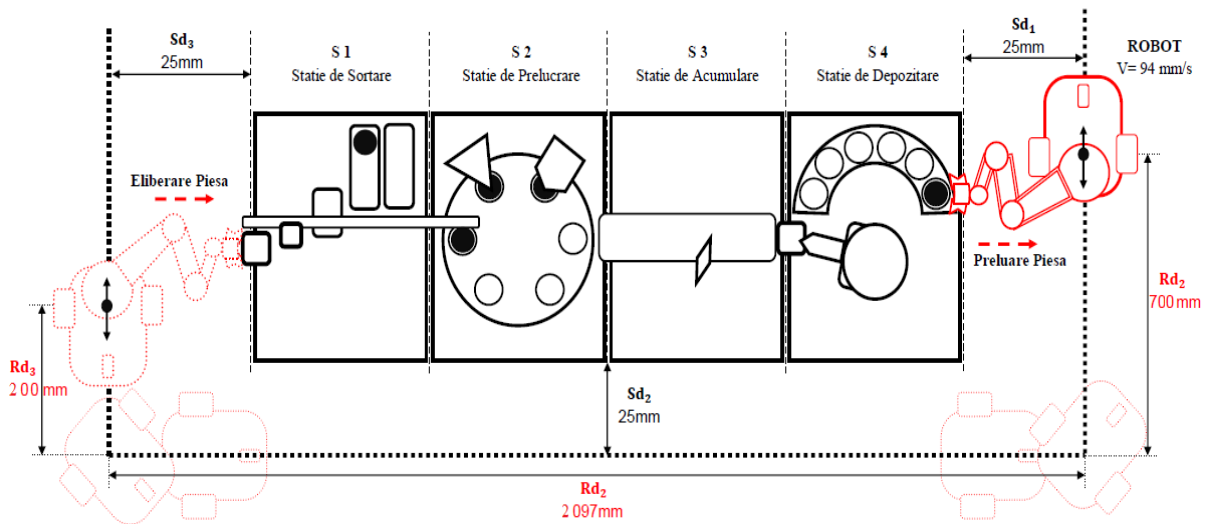


Fig.3.15. Secțiunile de traiectorie și distanțele parcurse de WMR

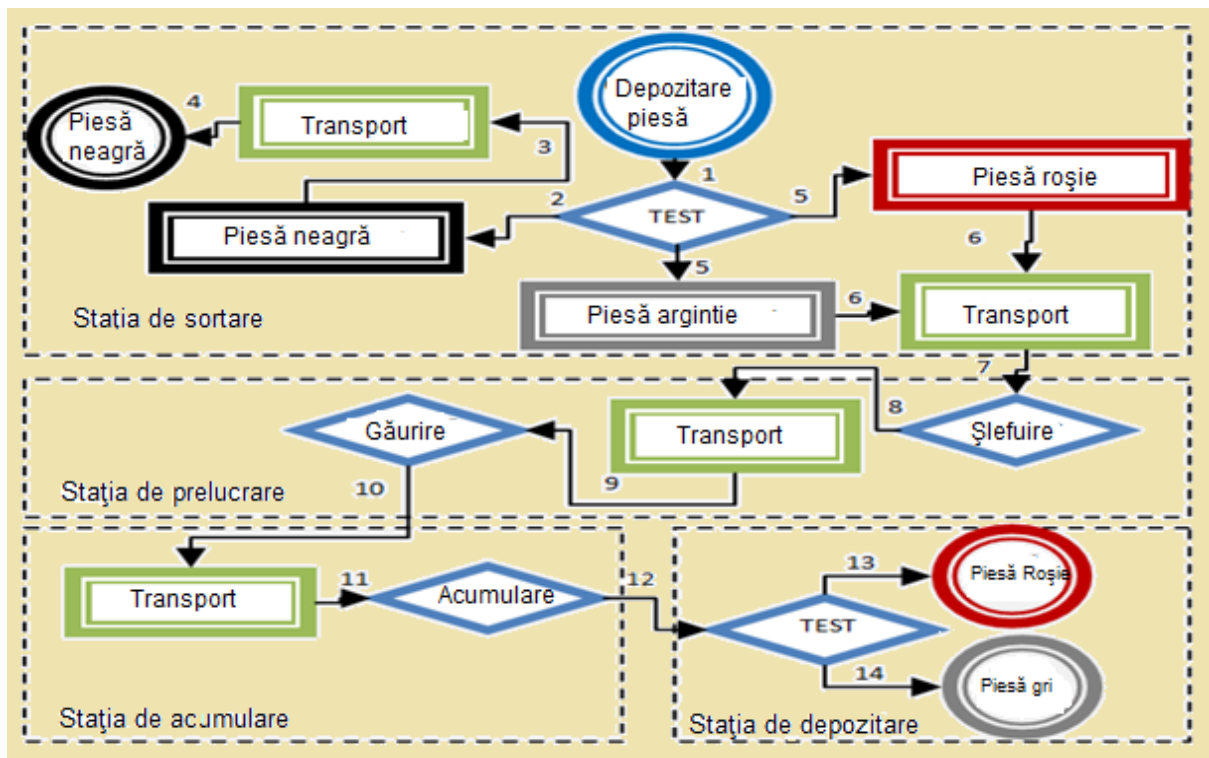


Fig.3.16. Planificarea taskurilor pentru sortare, alezare, găurire, acumulare și depozitare

Capitolul 4

Modelarea hibridă și simularea FMMLs, A/DML și P/RML, deservite de WMRs echipați cu RMs

Acest capitol este dedicat modelării hibride și testării modelelor asociate FMMLs deservite de WMRs echipați cu RMs prin simulare. Se prezintă modelul SHPN și testarea prin simulare în Sirphyco pentru A/DML deservită de un WMR echipat cu RM, în formă generală și particularizată. De asemenea, se prezintă modelul SHPN și simularea în Sirphyco a două sisteme robotice mobile integrate în A/DML. Tot aici sunt prezentate modelul SHPN și simularea în Sirphyco pentru P/RML deservită de un WMR echipat cu RM, unde sincronizarea se face și prin intermediul unui sistem servoing vizual cu poziție fixă sau mobilă.

4.1. Modelul SHPN asociat A/DML deservită de un WMR echipat cu RM

A/DML deservită de roboți mobili au caracteristici hibride, având două dinamici, una continuă și cealaltă discretă, bazată pe evenimente. Aspectul hibrid al modelului este determinat de variabilele asociate distanțelor parcurse de WMR, distanțe considerate între locațiile unde se produc operațiile de dez asamblare și locațiile magaziiilor de depozitare. Variația acestor variabile este în concordanță cu viteza de deplasare a WMR între locațiile A/DML. Pentru a dezvolta un model pentru A/DML deservită de WMR echipat cu RM, se va considera aspectul hibrid al proceselor de A/D. Pentru modelare se va apela la instrumentul THPN, care integrează aspectul discret al proceselor de A/D cu aspectul continuu al mișcării WMR-ului și manipulării componentelor de către RM. Modelul global este de tip SHPN deoarece

este interfațat cu evenimente externe pentru sincronizare, evenimentele ne fiind altceva decât semnale provenite de la senzori. Aceste evenimente sunt utile atât la modelare/simulare cât și la conducerea în timp real. Structura SHPN, din Fig.4.1, și reprezentarea pe blocuri, din Fig.4.2, corespund modelării discrete a proceselor de A/D și a dinamicii continue a WMR echipat cu RM, care deservește A/DML în procesul de dezasamblare. Structura internă a modelului SHPN integrează trei modele PN, fiecare dintre ele având o tipologie specifică: TPN (Rețea Petri Temporizată), SPN (Rețea Petri Sincronizată) și THPN (Rețea Petri Hibridă Temporizată). Aceste modele descriu următoarele operații care se execută automat:

- Asamblare/depozitare în magazii care este o tipologie TPN;
- Dezasamblare produs asamblat care nu a trecut testul de calitate, de tipologie SPN și TPN;
- Integrarea WMR echipat cu RM în A/DML în procesul de dezasamblare, tipologie THPN.

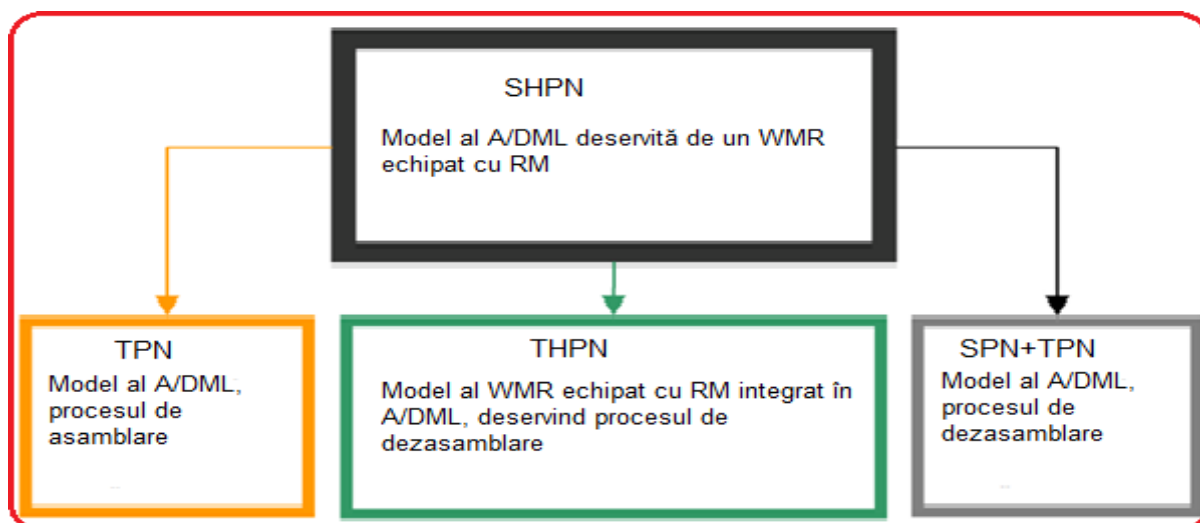


Fig.4.1. Structura modelului SHPN asociat A/DML deservită de un WMR echipat cu RM

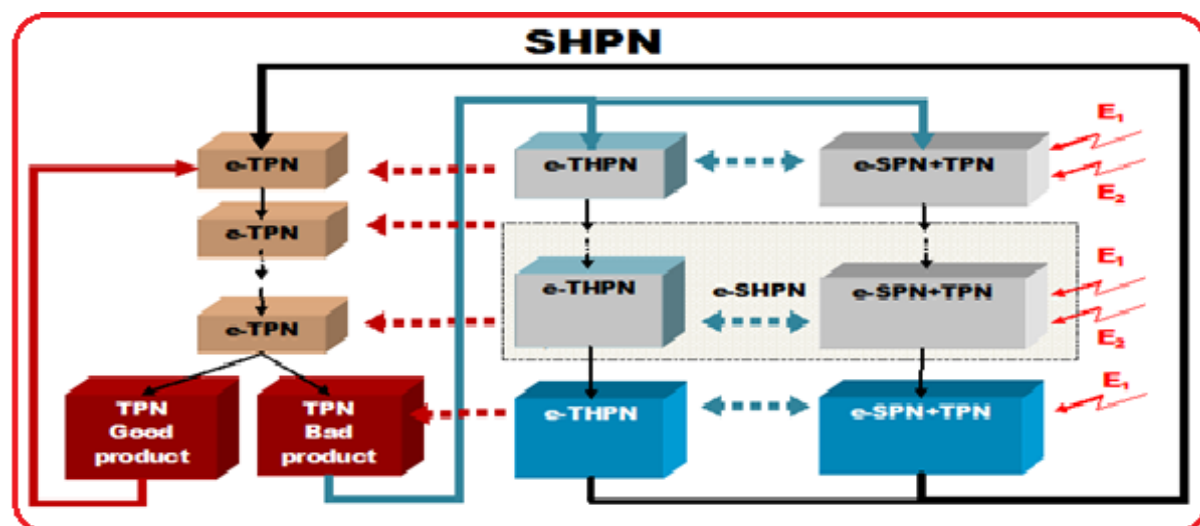


Fig.4.2. Modelul SHPN cu module elementare: e-TPN asamblare, e-THPN WMR echipat cu RM, e-SPN+TPN dezasamblare, e-SHPN dezasamblare deservită de WMR echipat cu RM

Tot în Fig.4.2, sunt marcate evenimentele externe provenite de la senzori $E_{dd(j)}^1$ și $E_{dd(j+2)}^2$, evenimente utilizate pentru sincronizarea A/DML cu platforma robotică, WMR echipat cu RM.

$E_{dd(j)}^1$ este un semnal de sincronizare extern care are drept efect "STOPPING" A/DML și "STARTING" dezasamblare. $E_{dd(j+2)}^2$ este un semnal de sincronizare extern care are drept efect "PICKING UP" componentă rezultată din operația de dezasamblare și "STARTING" A/DML. Testarea prin simulare a modelului SHPN, fără semnalele de sincronizare, adică simularea în mod autonom a modelului HPN, este utilă pentru a conecta dinamica discretă a A/DML cu dinamica continuă a WMR echipat cu RM. În Fig 4.5, este redat modelul e-SHPN corespunzător primei operații de dezasamblare, model care va fi testat prin simulare.

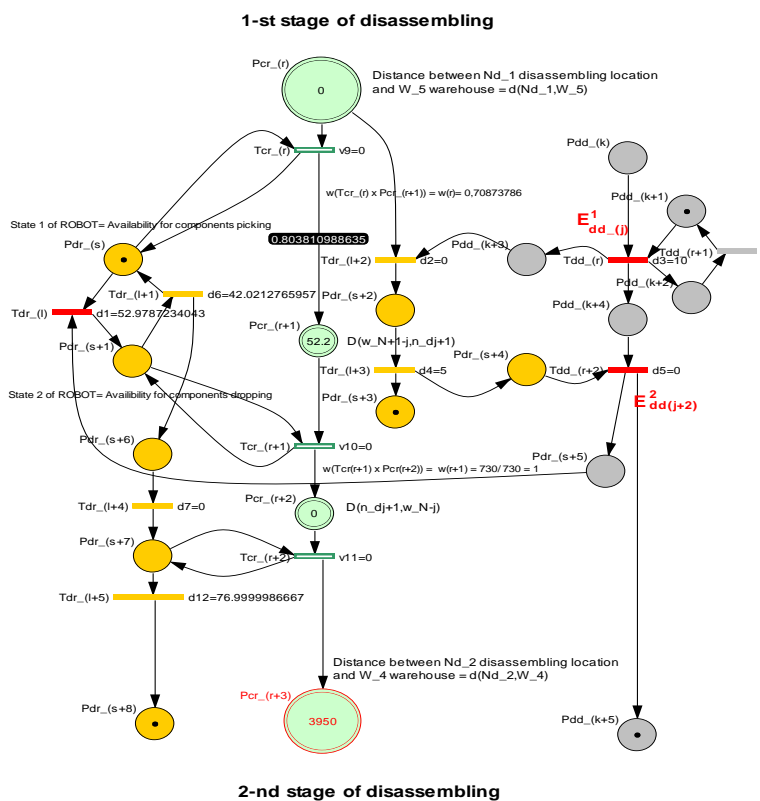
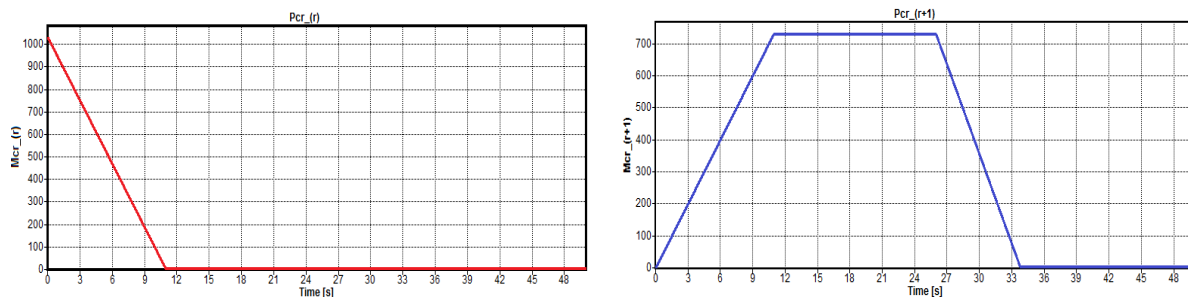


Fig.4.5. Modelul e-SHPN pentru prima operație elementară de dezasamblare $j = 1$

4.2. Simularea modelului SHPN

Modelul SHPN a fost testat, analizat și verificat prin intermediul pachetului Sirphyco, [97]. Utilitatea modelului SHPN constă în a găsi viteza maximă a WMR care produce timpul minim al ciclului general asociat procesului de dezasamblare. Această viteză trebuie să corespundă caracteristicilor și limitărilor constructive ale WMR. În fig.4.8 este prezentat răspunsul simulat al stărilor continue și discrete ale WMR echipat cu RM pentru modelul HPH din Fig.4.5.



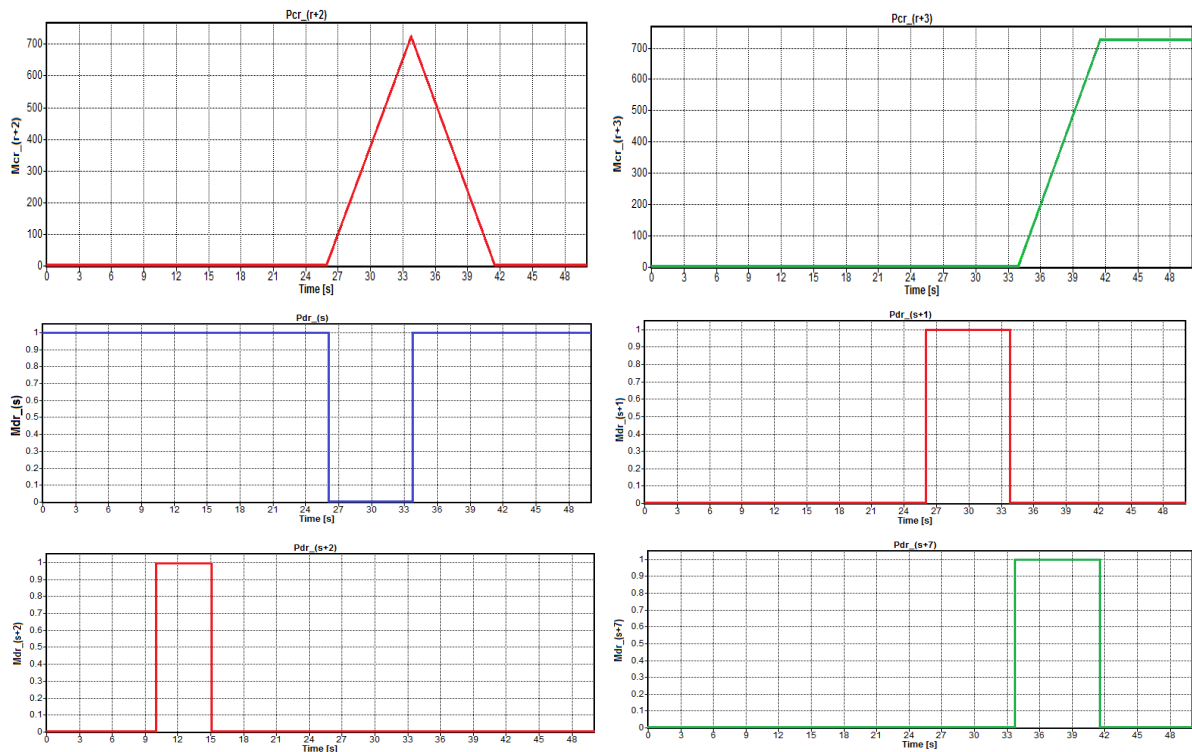


Fig.4.8. Variația stărilor continue și discrete asociate primului ciclu elementar de dezasamblare

4.3. Două sisteme robotice mobile integrate în A/DML

A/DML este deservită de doi WMRs lucrând în paralel, unul este echipat cu RM, utilizat pentru manipulare, iar al doilea, fără RM, este utilizat pentru transport. Cele două sisteme robotice, lucrează în paralel, sincronizat. WMR (WMR1) echipat cu manipulator (RM1) preia componenta de la locația unde se produce dezasamblarea și o depune pe WMR transportor (WMR2). Apoi WMR1 și WMR2 se deplasează simultan la locația de depozitare, unde RM1 preia componenta de pe platforma WMR2 și o eliberează în magazie. Și în acest caz, aspectul hibrid al modelului este determinat de variabilele asociate distanțelor parcurse de WMR1 și WMR2, distanțe considerate între locațiile unde se produc operațiile de dezasamblare și locațiile magaziiilor de depozitare. Structura SHPN din Fig.4.10 și reprezentarea pe blocuri din Fig.4.11 corespund modelării discrete a proceselor de A/D și a dinamicii continue a celor doi roboți, WMR1 echipat cu RM1 și WMR2, care deservesc A/DML în procesul de dezasamblare.

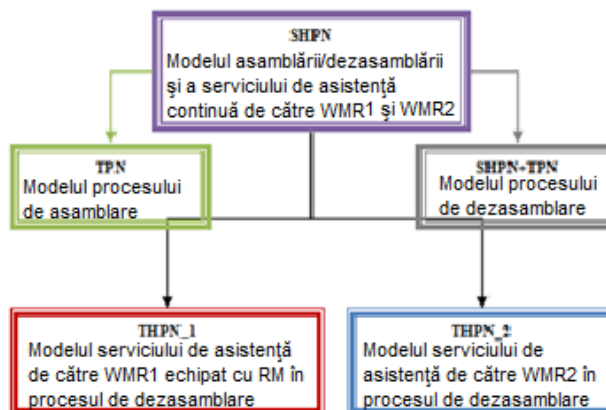


Fig.4.10. Structura modelului SHPN pentru doi WMRs integrați în A/DML

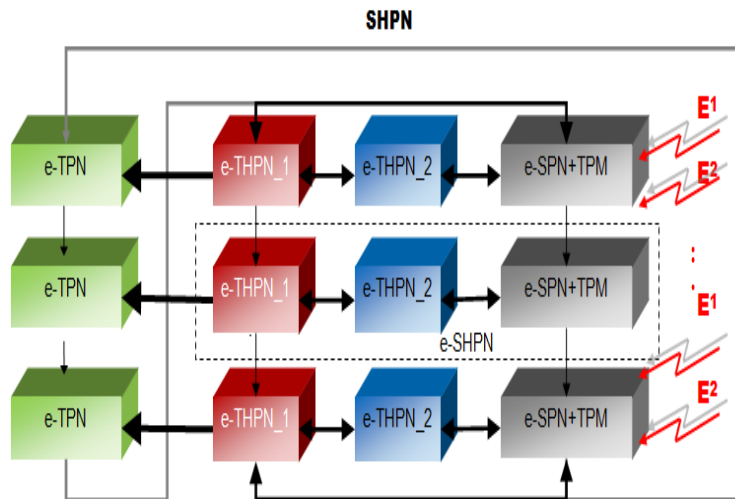


Fig.4.11. Modelul SHPN cu doi WMRs operând în paralel, sincron, integrați în A/DML, cu blocurile repetitive elementare, e-SHPN

4.4. Modelul SHPN pentru FMML, P/RML FESTO MPS-200 deservită de un WMR echipat cu RM

Aspectul hibrid al modelului este determinat de variabilele asociate distanțelor parcurse de WMR echipat cu RM. Aceste distanțe sunt parcurse de WMR între ultima stație de lucru (storage workstation) și prima stație (handling workstation) a P/RML. Pentru modelare se va apela la instrumentul SHPN, care integrează aspectul discret al proceselor de P/R cu aspectul continuu al deplasării WMR-ului și manipulării componentelor de către RM. Modelul global este de tip SHPN deoarece este interfațat cu evenimente externe pentru sincronizare, evenimentele fiind semnale provenite de la cele două sisteme servoing vizuale. Aceste evenimente sunt utile atât la modelare/simulare, cât și la conducerea în timp real. Structura SHPN, din Fig.4.15, corespunde modelării discrete a proceselor de P/R și a dinamicii continue a WMR-ului echipat cu RM, care deservește P/RML pentru a aduce piesa de la ultima la prima stație de lucru pentru a fi reprocessată.

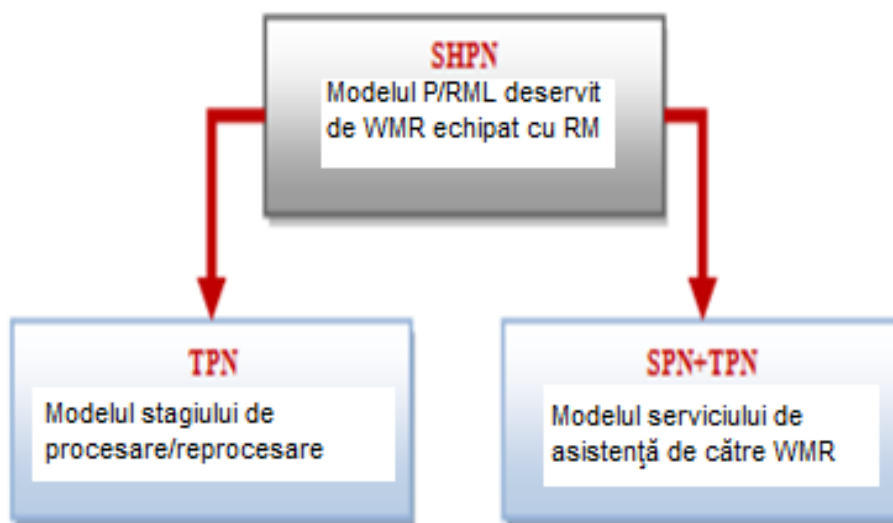


Fig.4.15. Structura modelului SHPN

Capitolul 5

Acționarea și conducerea în timp real a FMMLs cu roboți integrați

Utilizând, după caz, platforme LabView, Visual C++ și MATLAB, în acest capitol se prezintă acționarea și conducerea în timp real a roboților mobili integrați în A/DML și P/RML, conducere bazată pe modelele SHPN. Sunt tratate următoarele probleme pentru conducerea FMMLs:

- Testarea și validarea în laborator a tehnologiei hibride de conducere, în timp real, a fabricației flexibile pe A/DML, HERA&HORSTMANN, deservită de un WMR, Pioneer 3-DX, echipat cu un RM, Pioneer 5-DOF Arm;
- Testarea și validarea în laborator a tehnologiei hibride de conducere, în timp real, a fabricației flexibile pe A/DML, HERA&HORSTMANN, deservită de doi roboți mobili colaborativi, lucrând în paralel, sincron, unul dintre ei, Pioneer 3-DX, echipat cu RM, Pioneer 5-DOF Arm, utilizat pentru manipulare, și un al doilea, PatrolBot, utilizat pentru transport;
- Testarea și validarea în laborator a tehnologiei hibride de conducere, în timp real, a fabricației flexibile pe P/RML, FESTO-MPS 200, deservită de un WMR echipat cu RM.

5.1. A/DML, HERA&HORSTMANN, deservită de un WMR echipat cu un RM

Acționarea și conducerea tehnologiei hibride de fabricație flexibilă pe A/DML, HERA&HORSTMANN, deservită de un WMR, Pioneer 3-DX, echipat cu un RM, Pioneer 5-DOF Arm, utilizează pachetele software, Vizual C++, LabVIEW 2010 și Simatic STEP 7, [73], [85], [87]. Această aplicație permite acționarea, sincronizarea și conducerea în timp real a tehnologiei hibride, tehnologie bazată pe modelul hybrid SHPN, a proceselor de A/D deservite de un WMR echipat cu RM. Structura de acționare și conducere este prezentată în Fig.5.1. Aplicația permite conducerea complet automatizată a tehnologiei de fabricație flexibilă, pentru un lot de producție dat. Comunicarea dintre PLC-ul liniei flexibile de mecatronică și stația de lucru care asigură sincronizarea cu platforma robotică se face prin intermediul unei plăci de achiziție DAQ NI USB6008. Deoarece ieșirile și intrările digitale ale automatului programabil Siemens CPU 314C-2 DP funcționează cu tensiune de 0-24 V iar placa de achiziție lucrează cu tensiuni cuprinse între intervalul de 0-5 V s-a folosit o placă cu rele pentru a evita avarierea plăcii de achiziție.

5.2. Conducerea A/DML HERA&HORSTMANN deservită de doi WMRs operând în paralel, sincron

A/DML este deservită de doi WMRs, dintre care unul este echipat cu RM, utilizat pentru manipulare, iar al doilea fără RM, este utilizat pentru transport. Ambele platforme robotice deservește A/DML în procesul de dezasamblare. Cele două sisteme robotice operează în paralel, sincron. WMR-ul (WMR1) echipat cu manipulator (RM1) preia componenta de la locația unde se produce dezasamblare și o depune pe platforma (WMR2). Apoi WMR1 și WMR2 se deplasează simultan la locația de depozitare, unde RM1 preia componenta de pe platforma WMR2 și o depune în magazie. Aplicația de supervizare, programată în Visual C++ (Anexa 2), este implementată și rulează pe un laptop, aflat la distanță care monitorizează procesele de A/D, execuția și sincronizarea taskurilor pe cele trei subsisteme, A/DML, WMR1 echipat cu RM1 și WMR2. Supervisorul comunică cu cele două sisteme robotice prin protocol

TCP/IP, iar cu A/DML prin intermediul unei plăci de achiziție, NI-USB-8008 conectata la I/O digitale ale PLC-ului. Supervizorul asignează taskurile sistemelor robotice, în ceea ce privește, deplasarea între locațiile de dezasamblare și magazinele de depozitare, poziționare RM1, cât și închiderea/deschiderea gripperului. De asemenea, supervisorul comandă oprirea/pornirea benzilor transportoare ale stațiilor de lucru și sincronizarea acțiunilor A/DML cu acțiunile WMR1, RM1 și WMR2. În Fig.5. 23 este prezentată structura hardware și software pentru conducerea în timp real.

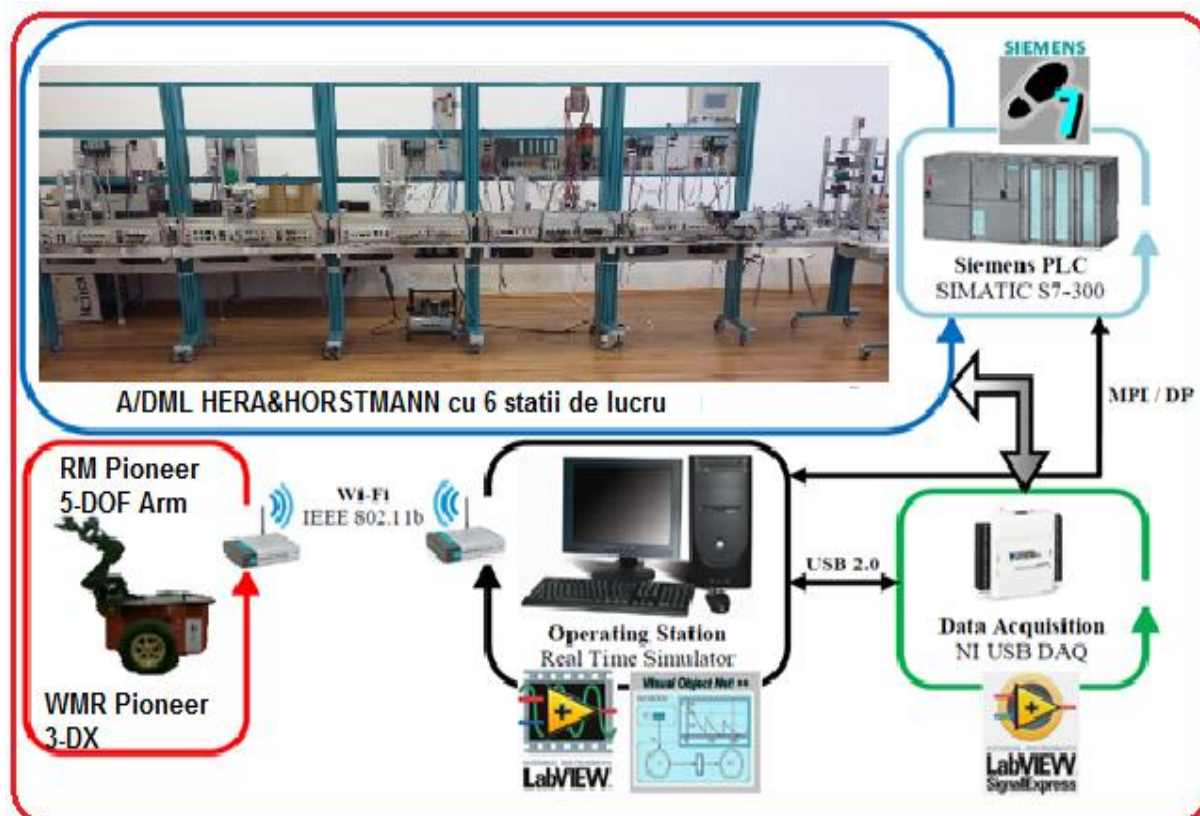


Fig.5.1. Structura de conducere A/DML HERA&HORSTMANN deservită de WMR, Pioneer 3-DX, echipat cu RM, Pioneer 5-DOF Arm

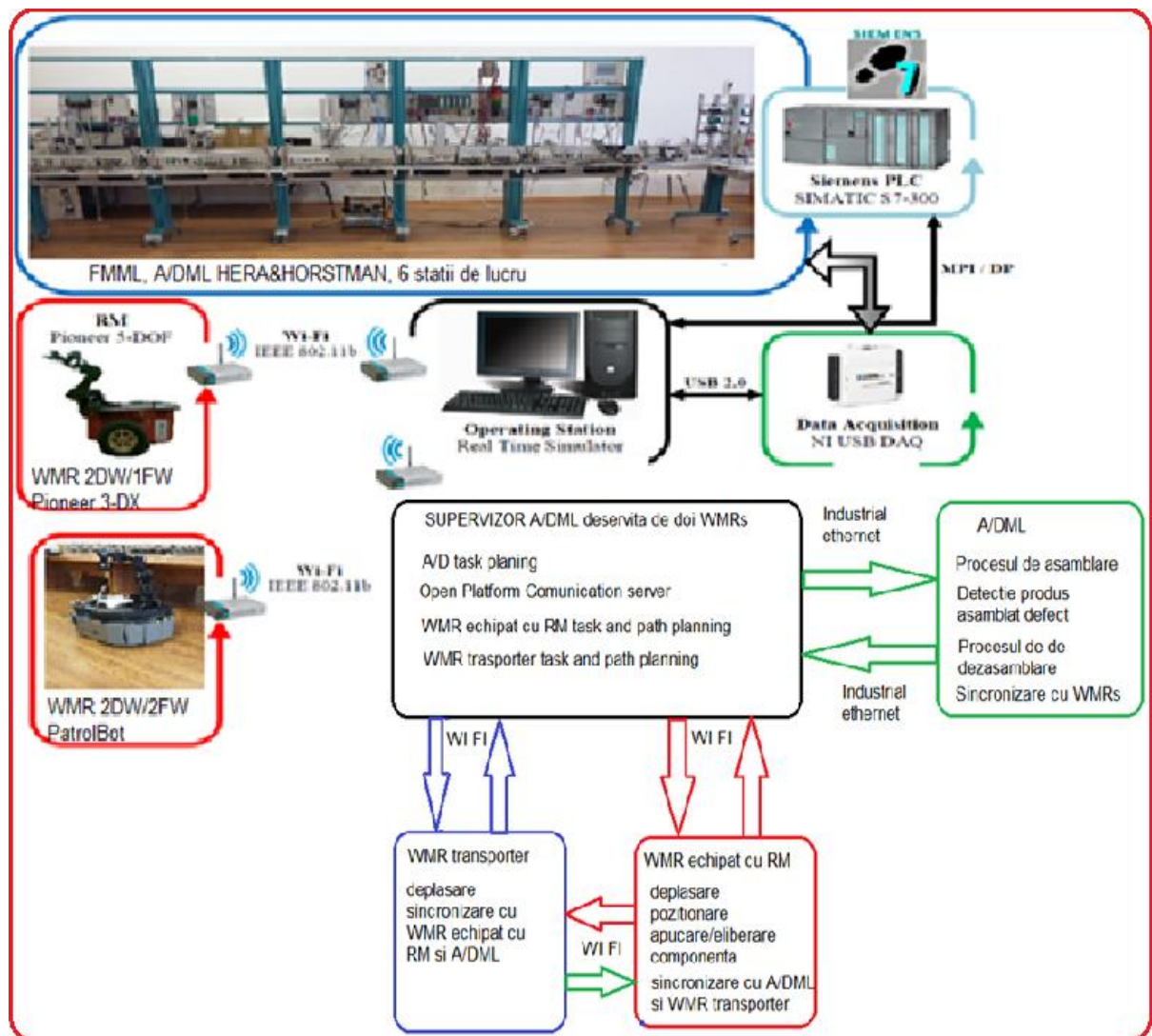


Fig.5.23. Structura hardware și software pentru conducerea A/DML deservită de doi WMRs

5.3. Conducerea FMML, P/RML FESTO MPS-200 deservită de un WMR echipat cu RM

S-a testat conducerea P/RML deservit de WMR echipat cu RM, mai întâi prin simulare în MobileSim. Algoritmii de conducere a platformei mobile au fost sliding-mode cu timp continuu, iar structura de conducere, hardware și software a fost cea din Fig.1.2. S-au apelat funcțiile din ARIA, iar programul de conducere, atât în regim de simulare, cât și în timp real, este elaborat în Visual C++. În cadrul simulării s-au impus anumite condiții de parcurgere a traiectoriei de către platforma mobilă Pioneer P3-DX în conducerea sliding mode [71]-[77]. Traiectoria simulată, Fig.5.24, corespunde procesului real de deservire a P/RML FESTO MPS-200 în cadrul proceselor de P/R deservit de o platformă mobilă echipată cu manipulator. Softul ARIA realizează conectarea automată la simulatorul MobileSim în cazul în care nu este detectat niciun WMR conectat la portul COM1. Simulatorul are implementate modelele cinematice ale roboților, funcții pentru simularea sonarelor și laserelor, care sunt folosite pentru a simula comportamentul unui robot real. Programul scris în C++ apelează funcțiile ARIA în cazul în care se dorește trimiterea unor comenzi către simulator sau citirea datelor simulate. Programul de conducere a întregului proces de P/R este împărțit în mai multe bucle locale de conducere după cum urmează:

- prima buclă de conducere are ca obiectiv controlul procesului de procesare a liniei flexibile FESTO MPS-200. Această buclă de conducere este implementată în PLC SIEMENS S7-300 cu procesor 313C-2 DP, ea fiind programată în mediul de programare STEP 7;
- a doua buclă de conducere locală o reprezintă conducerea WMR, Pioneer P3-DX echipat cu RM, Pioneer 5-DOF Arm.

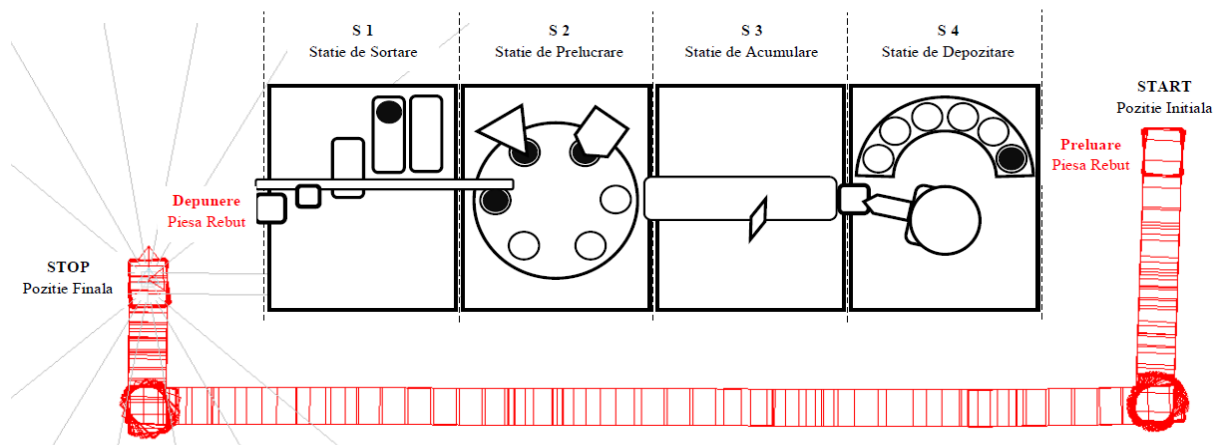


Fig.5.24. Simularea traiectoriei în MobileSim la conducerea SM-TT a WMR echipat cu RM

Schema bloc a comunicației dintre echipamentele utilizate în conducerea liniei flexibile FESTO MPS-200 deservită de un WMR, Pioneer P3-DX echipat cu RM, Pioneer 5-DOF Arm poate fi vizualizată în Fig 5.25.

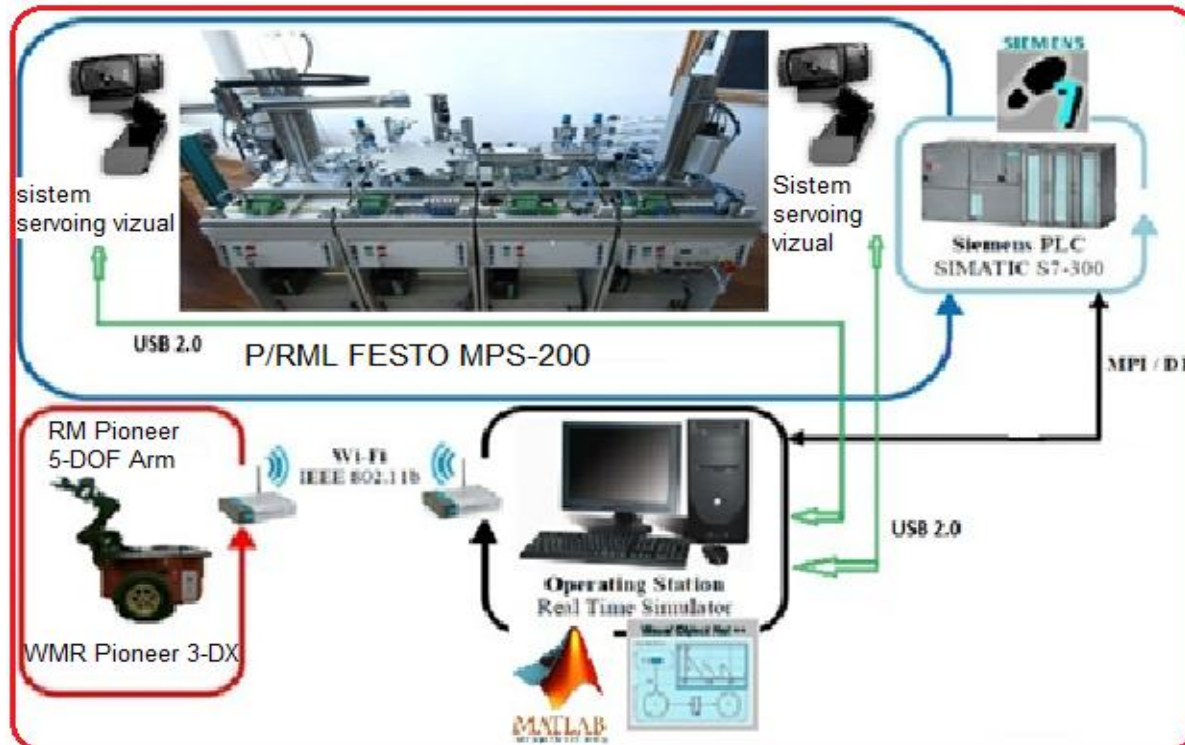


Fig.5.25. Schema bloc a comunicațiilor sistemului de procesare

Capitolul 6

Concluzii finale, contribuții, direcții de cercetare viitoare, diseminarea rezultatelor

Abordarea care se propune în teză răspunde noilor concepte de planificare și conducere a proceselor de fabricație flexibilă, de asamblare/dezasamblare, și de prelucrare/reprelucrare, pe sisteme de laborator compuse din linii de mecatronică deservite de platforme robotice mobile echipate cu manipuloare. Aceste structuri de laborator au corespondent în industria reală, mai ales la procesele de asamblare și prelucrare din industria de automobile, la asamblarea caroseriei, a cutiei de viteze și a blocului motor. Actualmente, liniile de fabricație flexibilă sunt deservite de manipuloare robotice care, în general, au o poziție fixă. Prin cercetarea propusă în teză, s-a dorit o extindere la integrarea în liniile de fabricație flexibilă a roboților mobili echipați cu manipuloare. În aceeași măsură, abordarea din teză răspunde și noilor cerințe, de recuperare subansamble sau componente pentru vânzare, reutilizare și reintroducere în fluxurile de fabricație a produselor care după ce au parcurs un proces tehnologic pe o linie de producție, nu corespund calitativ.

6.1. Concluzii finale

Consider ca prin cele 5 capitole la care se adaugă și Introducerea, teza răspunde integral obiectivelor formulate, obiective prin care mi-am propus să finalizez până la stadiul de implementare în timp real tehnologii de fabricație flexibilă pe linii de mecatronică deservite de sisteme robotice mobile. Am abordat aspecte ce țin de acționarea roboților mobili și a liniilor de mecatronică, insistând pe compatibilizarea hardware a celor două entități, astfel încât sistemele robotice să poată fi integrate într-o măsură cât mai mare în procesele de fabricație pe două tipuri de linii de mecatronică, de asamblare/dezamblare și prelucrare/reprelucrare.

6.2. Contribuții

Contribuțiile revendicate la acționarea și conducerea FMMLs deservite de roboți mobili echipați cu manipuloare, diseminate și certificate prin lucrările publicate, la care am fost prim autoare sau co-autoare, sunt următoarele:

- Modelarea cinematică a WMRs: 2DW/2FW, PatrolBot și 2DW/1FW, Pioneer 3-DX cât și acționarea și comanda RMs, Pioneer 5-DOF Arm și 7-DOF Cyton 1500, [F1], [F2], [F16], [F17], [F18], [F21];
- Conducerea sliding-mode cu timp continuu și conducerea sliding-mode cu timp discret, conduceri bazate pe modelul cinematic al WMRs cu 2DW/2FW și 2DW/1FW, modelul erorilor de urmărire și dinamica erorilor de urmărire, [F3], [F4], [F5], [F6], [F7], [F20];
- Sistemul de comunicație la distanță și de comandă a WMR cu 2DW/2FW și 2DW/1FW în protocolul client server, [F3], [F4], [F5], [F6], [F20], [F21];
- Utilizând MobileSim, s-a testat comparativ conducerea sliding-mode, "trajectory tracking", în regim simulat pentru trei traiectorii, cerc, pătrat și curba deschisă a WMRs: Pioneer 3-DX și PatrolBot, [F3], [F4], [F5], [F6], [F20], [F21];
- Schema bloc de acționare a roților motoare și de conducere în buclă închisă cu structură de conducere sliding-mode, cu timp discret, echivalent discret cu extrapolator de ordin zero, [F9], [F16];

- Analiza FMMLs cu referire la două tipuri de procese industriale, de fabricație flexibilă, de asamblare și de prelucrare și corespondențele acestor două sisteme industriale cu două FMMLs, A/DML și P/RML, [F10];
- Obținerea unor structuri optimizate de fabricație flexibilă care permit cu aceleași stații efectuarea de operații de A/D și P/R, [F11], [F14];
- Ipotezele de lucru și de funcționare aferente FMML, A/DML cu N stații de lucru deservită de unul sau două sisteme robotice mobile echipate cu manipolatoare, [F11];
- Ipotezele de lucru și de funcționare aferente FMML, P/RML deservită de un sistem robotic mobil echipat cu manipulator, [F12], [F13], [F14], [23];
- Asignarea și planificarea taskurilor pentru operațiile derulate pe A/DML, cu N stații de lucru, deservită de unul sau două sisteme robotice mobile echipate cu manipolatoare, [F10], [F19], [F24];
- Echilibrarea A/DML cu N stații de lucru, deservită de unul sau două sisteme robotice mobile echipate cu manipolatoare, prin rezolvarea unei probleme de optimizare cu restricții, [F11], [F14], [F18];
- Asignarea și planificarea taskurilor pentru operațiile derulate pe A/DML, HERA&HORSTMANN, deservită de unul sau două sisteme robotice mobile echipate cu manipolatoare, [F11], [F14], [F19];
- Asignarea și planificarea taskurilor pentru operațiile derulate pe P/RML FESTO MPS-200, deservită de un sistem robotic mobil echipat cu RM, [F12], [F13], [F14], [F23];
- Structura, modelul SHPN și formalismul general, cu evidențierea submodelelor repetitive, pentru A/DML deservită de un WMR echipat cu RM, [F15], [F22];
- Structura, modelul SHPN și formalismul particularizat, cu evidențierea submodelelor repetitive, pentru A/DML HERA&HORSTMANN deservită de WMR, Pioneer 3-DX echipat cu RM, Pioneer 5-DOF Arm, [F15], [F22];
- Simularea în pachetul Sirphyco a modelului SHPN pentru A/DML HERA&HORSTMANN deservită de WMR, Pioneer 3-DX echipat cu RM, Pioneer 5-DOF Arm, primul și ultimul ciclu elementar de dezasamblare, [F11], [F15];
- Structura, modelul SHPN și formalismul particularizat, cu evidențierea submodelelor repetitive, pentru A/DML HERA&HORSTMANN deservită de doi WMRs, Pioneer 3-DX echipat cu RM, Pioneer 5-DOF Arm și PatrolBot, [F19], [F24];
- Simularea în pachetul Sirphyco a modelului SHPN pentru A/DML HERA&HORSTMANN deservită de doi WMRs, Pioneer 3-DX echipat cu RM, Pioneer 5-DOF Arm și PatrolBot, primul ciclu elementar de dezasamblare, [F19], [F24];
- Structura, modelul SHPN și formalismul particularizat pentru P/RML, FESTO MPS-200 deservită de WMR, Pioneer 3-DX echipat cu RM, Pioneer 5-DOF Arm, [F12], [F13], [F14], [F23];
- Simularea în pachetul Sirphyco a modelului SHPN pentru P/RML, FESTO MPS-200 deservită de WMR, Pioneer 3-DX echipat cu RM, Pioneer 5-DOF Arm, [F12], [F13], [F14], [F23];
- Implementarea în LabView, testarea și validarea în laborator a tehnologiei hibride de fabricație flexibilă pe A/DML, HERA&HORSTMANN, deservită de un WMR echipat cu RM, [10], [F11], [F15], [F22];
- Implementarea în Vizual C++, testarea și validarea în laborator a tehnologiei hibride de fabricație flexibilă pe A/DML, HERA&HORSTMANN, deservită de doi roboți mobili colaborativi, lucrând în paralel, unul dintre ei, Pioneer 3-DX, echipat cu un RM,

Pioneer 6-DOF Arm, utilizat pentru manipulare, și un al doilea, PatrolBot, utilizat pentru transport, [F19], [F24];

- Implementarea în Matlab și Vizual C++, testarea și validarea în laborator a tehnologiei hibride de fabricație flexibilă pe P/RML, FESTO-MPS 200, deservită de un WMR echipat cu RM, [F14].

6.3. Direcții de cercetare viitoare

Cercetările și rezultatele obținute, materializate și prezentate în această teză de doctorat, mă determină să jalonez câteva direcții de investigație viitoare:

- Acționarea și conducerea FMMLs deservite de sisteme robotice, cu luarea în considerație a unor concepte de robustețe la incertitudini parametrice și de model, atât privitoare la linia de fabricație flexibilă, cât și privitoare la sistemele robotice integrate;
- Implementarea de metode de evitare obstacole pentru sistemele robotice integrate în FMMLs;
- Având la bază implementările pe linii de mecatronică de laborator, extinderea tehnologiilor hibride de fabricație flexibilă deservite de roboți mobili echipați cu manipolatoare la procese industriale reale, în diverse sectoare, din industria auto, metalurgie, industria ceramicii și a sticlei.

6.4. Diseminarea rezultatelor

Rezultatele obținute ca urmare a activității de cercetare au fost publicate sau sunt acceptate spre publicare, după cum urmează:

- 19 lucrări la conferințe internaționale, indexate în următoarele BDI: SCOPUS (19), IEEE Xplore (12), Science direct-IFAC-PapersOnLine (1);
- 10 din cele 19 lucrări sunt indexate ISI proceedings Web of Science (WoS);
- 5 lucrări în reviste, dintre care una în Springer, una indexată ISI Web of Science (factor de impact=0.449) și 3 indexate în Cambridge Scientific Abstracts.

Mai jos, este prezentată lista cu lucrările prin intermediul cărora au fost diseminate rezultatele:

[F1]. Filipescu, A., Susnea, I., **Filipescu, A., Jr.**, Stamatescu, G., Control of Mobile platforms as Robotic Assistants for Elderly, Proceedings of the 7th Asian Control Conference, Hong Kong, China, August 27-29, 2009, IEEE Catalog Number CFP09832, ISBN:978-89-956056-9-1, pp:1456-1461 (indexed WoS).

[F2]. Filipescu, A., Susnea, I., **Filipescu, A., Jr.**, Stamatescu, G., Distributed System of Mobile Platform Obstacle Avoidance and Control as Robotic Assistant for Disabled and Elderly, Proceedings of 2009, IEEE International Conference on Control and Automation Christchurch, New Zealand, December 9-11, 2009, IEEE Catalog Number CFP09537, ISBN: 978-1-4244-4707-7, pp: 1886-1891 (indexed WoS).

[F3]. Mihalcea I., Radjabov S., **Filipescu, A., Jr.**, Intelligent Trajectory Tracking in Sliding Mode Based Wheeled Mobile Robot Control, Proceeding of 14th IEEE International Conference in System Theory and Control, pp: 556-561, 17-19 Oct., Sinaia, Romania, 2010, ISSN: 2068-0465.

[F4]. Dumitrascu B., Filipescu A., Radaschin A., **Filipescu A. Jr.**, Minca E., -Discrete-Time Sliding Mode Control of Wheeled Mobile Robots, Proceedings of the 8th Asian Control

- Conference, pp: 771 – 776, Kaohsiung, Taiwan, China, May 16-18, 2011, ISBN: 978-1-61284-487-9(indexed WoS).
- [F5]. Filipescu, A., Minzu, V., Dumitrascu, B., **Filipescu, A, Jr.**, Minca, E., Trajectory-tracking and discrete-time sliding-mode control of wheeled mobile robots, 2011 IEEE International Conference on Information and Automation, pp: 27-32, e-ISBN: 978-1-4577-0269-3, Print ISBN: 978-1-4577-0268-6, DOI: [10.1109/ICINFA.2011.5948958](https://doi.org/10.1109/ICINFA.2011.5948958), 6-8 June 2011, Shenzhen, China.
- [F6]. Dumitrascu, B., Filipescu, A., Vasilache, C., Minca, E., **Filipescu, A. Jr.**, Discrete-time sliding-mode control of four driving/steering wheels mobile platform, The Proceedings of 19th IEEE Mediterranean Conference on Control & Automation, pp: 1076–1081, ISBN: 978-1-4577-0124-5, DOI: [10.1109/MED.2011.5983167](https://doi.org/10.1109/MED.2011.5983167), 20-23 June 2011, Corfu, Greece (indexed WoS).
- [F7]. Dumitrascu, B., Filipescu, A., Minzu, V., and **Filipescu, A., Jr.**, -Backstepping Control System Theory, Control and Computing, pp: 206-211, 14-16 Oct., Sinaia, Romania, 2011, ISBN: 978-973-621-323-6;
- [F8]. Radaschin, **A.**, Filipescu, **A.**, Minzu, V., Minca E., and **Filipescu. A., Jr.**, -Adaptive disassembly sequence control by using mobile robots and system information, Proceeding of 15th IEEE International Conference in System Theory, Control and Computing, pp: 499-505, 14-16 Oct., Sinaia, Romania, 2011, ISBN: 978-973-621-323-6.
- [F9]. Filipescu, A., Susnea, I., Minzu, V., Minca, E., Serbencu, A., **Filipescu Jr, A.**, -Path Following Fuzzy Control and Bubble Rebound Obstacle Avoidance Method of a WMR mobile platform, 18th International Conference on Control Systems and Computer Science, proceedings, CSCS 18, 24-27 May, 2011, Bucharest, ed. Politehnica press, ISSN 2066-4451, pp.404-409.
- [F10]. Minca, E., Stefan, V., Filipescu, A., Serbencu, A., **Filipescu, A., Jr**, Two Approaches in Modeling of Assembly/Disassembly Line with Integrated Manipulator Mounted on Mobile Platform, International Conference on System Theory, Control and Computing, Joint Conference SINTES 16, SACCS 12, SIMSIS 16, Proceedings of the 16th IEEE, International Conference on System Theory, Control and Computing, ICSTCC2012 12-14, Oct. Sinaia, 2012, ISBN 978-606-834-848-3, IEEE Catalog Number CFP1236P-CDR.
- [F11]. Minca, E., Voda, A., Filipescu, A., and **Filipescu, A., Jr.**: Hybrid Model Based Control of a Mechatronics Line Served by Mobile Robot with Manipulator, In Proceedings of the 8th IEEE International Conference on Industrial and Electronic Application (ICIEA2013), pp: 1296-1301, ISBN: 978-1-4673-6322-8, 19-21, June, 2013, Melbourne, Australia (indexed WoS).
- [F12]. 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 16th 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(indexed WoS).
- [F13]. **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(indexed WoS).
- [F14]. **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(indexed WoS).

- [F15]. Filipescu, A., **Filipescu, A., Jr.**, Simulated Hybrid Model of an Autonomous Robotic System Integrated into Assembly/Disassembly Mechatronics Line Preprints of the 19th World Congress The International Federation of Automatic Control, Cape Town, South Africa. August 24-29, 2014, pp.9223-9228, Copyright © 2014 IFAC, DOI:10.3182/20140824-6-ZA-1003.00556.
- [F16]. Solea, R., Filipescu, A., **Filipescu, A., Jr.**, Minca, E., Filipescu, S., Wheelchair Control and Navigation Based on Kinematic Model and Iris Movement, Proceedings of the 2015 7th IEEE International Conference on Robotics, Automation and Mechatronics (CIS&RAM), 15 – 17 July 2015 Angkor Wat, Cambodia, IEEE Catalog Number: CFP15835-CDR, ISBN: 978-1-4673-7336-4, pp:78-83 (indexed WoS).
- [F17]. Filipescu, A., Minca E., Voda A., Dumitrascu B., **Filipescu A., Jr.**, Ciubucciu G., Sliding-Mode Control and Sonnar Based Bubble Rebound Obstacle Avoidance for a WMR, Proceedings of the 19th IEEE, International Conference on System Theory, Control and Computing, ICSTCC 2015 14-16, Oct., Cheile Grădiștei, Romania, 2015, pp.105-110, ISBN: 978-1-4799-8481-7©2015 IEEE (indexed WoS).
- [F18]. Ciubucciu, G., Filipescu, A., **Filipescu, A., Jr.**, Filipescu, S., Dumitrascu, B., Control and Obstacle Avoidance of a WMR Based on Sliding-Mode, Ultrasounds and Laser; Proceedings or the 12th IEEE International Conference on Control and Automation, Kathmandu, Nepal, June 1-3, 2016, pp.779-784, ISBN: 978-1-5090-1737-9/16/\$31.00 ©2016 IEEE(indexed WoS).
- [F19]. Filipescu A., **Filipescu A., Jr.**, Minca, E., Voda, A., Hybrid Modeling,Balancing and Control of a Mechatronics Line Served by Two Mobile Robots, Proceedings of the 20th IEEE, International Conference on System Theory, Control and Computing, ICSTCC 2016, ISBN: 978-1-5090-2720-0/16/\$31.00 ©2016 IEEE, pp:234-239, 14-16, Oct., Sinaia, Romania.
- [F20]. Filipescu, A., Minzu, V., **Filipescu, A., Jr.**, Minca E., “Discrete-Time Sliding-Mode Control of a Mobile Platform with Four Driving/Steering Wheels”, [Lecture Notes in Electrical Engineering](#), Book Title: [Advances in Automation and Robotics, Vol.1](#), Series Volume 122, Series ISSN 1876-1100, Publisher Springer Berlin Heidelberg.
- [F21]. Susnea I, Filipescu A., **Filipescu A., Jr.**, Coman G., Wheeled Mobile Robot Control Using Virtual Pheromones, Petroleum-Gas University of Ploiesti Bulletin, Technical Series, Vol LXI, no.3/2009, ISSN 1224-8495, pp. 117-126, cod CNCSIS 38.
- [F22]. 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.
- [F23]. 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.
- [F24]. Minca, E., Filipescu A., Coanda H., G., Fratila, C., Ion, F., **Filipescu, A., Jr.**, Hybrid Models for Simulation of Mechatronics Lines Served by Parallel or Collaborative Mobile Robots, accepted paper Journal of Control Engineering and Applied Informatics, ISSN 1454-8658, ISI Impact Factor of the journal is 0.449.