



Raport științific
privind implementarea proiectului PN-II-ID-PCE-2011-3-0641

CONDUCEREA AVANSATA A SISTEMELOR DE FABRICATIE
REVERSIBILE, DE ASAMBLARE SI DEZASAMBLARE, UTILIZAND ROBOTI MOBILI
ECHIPATI CU MANIPULATOARE ROBOTICE
pentru intreaga perioada de derulare a proiectului

Assoc Prof. Ph. D. Eng. Alina VODA-project leader, principal investigator, Ph.D. in Control Systems, Ph.D. supervisor in Control Systems;

Prof., Ph.D., Eng. Adrian FILIPESCU - senior researcher, University “Dunarea de Jos” of Galati, Ph.D. in Control Systems (Contributions to the synthesis of systems with variable structure and adaptive), Ph.D. supervisor in Control Systems;

Assoc Prof., Ph. D. Eng. Eugenia MINCA -senior researcher, University “Valahia” of Targoviste, Ph.D. in Control Systems (Contribution to the supervision of production systems using fuzzy Petri nets: application to the e-maintenance), second Ph. D in Industrial Engineering;

Assistant, Ph.D., Eng. Otilia DRAGOMIR -Postdoctoral researcher, University “Valahia” of Targoviste, Ph.D. in Control Systems (Contribution to prognosis failures of production, by neuro-fuzzy network: control of the prediction error);

Eng. Bogdan DUMITRASCU, - Ph.D. student in Control Systems (contributions to control, navigation and obstacle avoidance of mobile robots and autonomous vehicles), University “Dunarea de Jos” of Galati, Adrian Filipescu is his Ph.D supervisor;pe 29-noiembrie-2012 a susținut public teza de doctoratcu Adrian Filipescu și Eugenia Mincă membri în comisia de susținere publică.

Lecturer eng. Adriana SERBENCU, Ph.D. student in Control Systems (contributions to intelligent control of collaborative mobile robots), University “Dunarea de Jos” of Galati, Adrian Filipescu is her Ph.D. supervisor;

Eng. Adrian RADASCHIN, Ph.D. student in Control Systems(contributions to the intelligent control of mobile robots integrated in flexible manufacturing lines), University “Dunarea de Jos” of Galati, Adrian Filipescu is his Ph.D supervisor, Alina Voda is his Ph.D co-supervisor;pe 29-noiembrie-2012 a susținut public teza de doctorat, cu Adrian Filipescu, Alina Vodă și Eugenia Mincă membri în comisia de susținere publică.

Eng. Silviu FILIPESCU Ph.D. student in Electrical Engineering(contributions to advanced control of mechatronic lines served by mabile platform equipped with manipulatorsusing DSPs and embedded systems), Polytechnic University of Bucharest, Liviu Kreindler his Ph.D supervisor. Eng Silviu Filipescu Replace in the research team Ph.D student eng. Adrian Enache who renounced to doctoral studies and to research team project;

Eng. Cristian VASILACHE, Ph.D. student in Control Systems (contributions to the control of mobile robots equipped with robotic manipulators by biometric techniques), University “Dunarea de Jos” of Galati, Adrian Filipescu is his Ph.D supervisor, Alina Voda is his Ph.D co-supervisor.

ETAPA 1(2011)+ETAPA 2(2012) +ETAPA 3(2013)

Mai jos, se raportează rezultate științifice obținute și diseminarea lor la fiecare din cele 5 obiective din propunerea de proiect, pentru perioada: octombrie.2011-decembrie.2013:

OB1) Obținerea de modele cinematice și dinamice pentru roboții mobili cu două roți motoare și una liberă (2DW/1SW), cu două roți motoare și două libere (2DW/2SW) și cu patru roți motoare și directoare 4DW/SW, echipați cu manipulatoare robotice pentru transportul sarcinilor de greutate : mica, medie și mare.

Pentru a face reversibilă o linie flexibilă de asamblare, adică să execute și dezasamblare, se vor utiliza roboți mobili echipați cu manipulatoare robotice care vor transporta componentele din locațiile unde se efectuează dezasamblarea către locațiile magaziiilor de depozitare și de unde se preiau piesele pentru asamblare. Pentru transportul pieselor de greutate mică (până la 450g) s-a utilizat robotul mobil 2DW/1FW Pioneer 3-DX ce are montat manipulatorul cu articulații și brațe rigide Pioneer 6-DOF Arm și Cyton 300 (figurile 1 și 2) ;

2). Conducerea ansamblului manipulator robotic-platformă mobilă s-a diseminat prin lucrarea la care primul autor este directorul de proiect, iar drept coautori sunt doi cercetătorii seniori din echipa proiectului:

A. Besançon-Voda, A. Filipescu, I. Susnea, E. Minca, "Control and Obstacle Avoidance of a Mobile Platform Used as Robotic Assistant for Elderly and Disabled", The 6th National Conference on "Control Architectures of Robots", May 24-25, 2011, Grenoble, FRANCE;



Figura 1



Figura 2



Figura 3



Figura 4



Figura 5



Figura 6

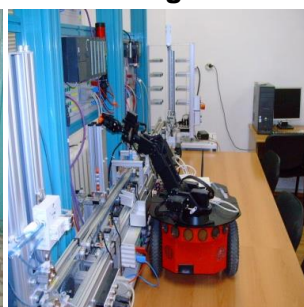


Figura 7



Figura 8

Pentru transportul pieselor de greutate medie (până la 1kg) s-a utilizat robotul mobil 2DW/2FW, PatrolBot (Figura 3) care permite montat manipulatorul cu articulații și brațe rigide 6-DOF Cyton 2 300. Manipulatorul este prevăzut să se achiziționeze în decursul anului 2014 (a fost achiziționat în 2016, Cyton 1500), iar platforma mobilă PatrolBot echipată cu manipulatorul care să deservească liniile flexibile de fabricație va face obiectul cercetării în anul 2014. Pentru transportul pieselor de greutate mare (până la 5 kg) se vor utiliza roboții mobili: 2DW/2FW, PowerBot (Figura 4) și 4DW/SW Seekur (Figura 6) care permite montarea manipuletoarelor cu articulații și brațe rigide. Rezultatele privind modelarea și conducerea platformelor mobile Pioneer 3-DX și PatrolBot s-au



diseminat prin publicatii anterioare anului 2011, iar pentru robotii mobili PowerBot si Seekur s-au diseminat prin urmatoarele lucrari:

Filipescu, A.; Minzu, V.; Dumitrascu, B.; Filipescu, A.; 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, Digital Object Identifier: [10.1109/ICINFA.2011.5948958](https://doi.org/10.1109/ICINFA.2011.5948958), 6-8 June 2011, Shenzhen, China.

Dumitrascu, B.; Filipescu, A.; Vasilache, C.; Minca, E.; Filipescu, A.; 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, Digital Object Identifier: [10.1109/MED.2011.5983167](https://doi.org/10.1109/MED.2011.5983167), 20-23 June 2011, Corfu, Greece.

Dumitrascu, Bogdan; Filipescu, Adrian; Minzu, Viorel; Voda, Alina; Minca, Eugenia.; Discrete-time sliding-mode control of four driving-steering wheels autonomous vehicle, Proceedings of the 30th Chinese Control Conference (CCC 2011), pp. 3620 – 3625, ISSN: 1934-1768, ISBN: 978-1-4577-0677-6, 22-24 July 2011, Yantai, China.

Bogdan Dumitrascu, Adrian Filipescu, Viorel Minzu and A. Filipescu Jr.; -Backstepping Control of Wheeled Mobile Robots, Proceeding of 15th IEEE International Conference in System Theory, Control and Computing, ICSTCC2011 pp:206-211, 14-16 Oct., Sinaia, Romania, 2011, ISBN: 978-973-621-323-6;

Filipescu A., Minzu V. Filipescu A. Jr. Minca E. Discrete-Time Sliding-Mode Control of a MobilePlatform with Four Driving/Steering Wgeels, Lecture Notes in Electrical Engineering, 122, ISSN 1876-1100, Gary Lee Editor, Advances in Automation and Robotics, Vol. 1, LNEE 122, pp. 401–409. springerlink.com © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011, ISBN 978-3-642-25552-6, e-ISBN 978-3-642-25553-3, DOI 10.1007/978-3-642-25553-3

B. Dumitrascu, A. Filipescu, A. Voda, E. Minca, S. Filipescu G. Petrea, 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, 978-1-4799-2228-4/13/\$31.00 ©2013 IEEE.

Adrian Radaschin, Adrian Filipescu, Viorel Minzu, Eugenia Minca and Adriana Filipescu- 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;

OB2) a) Proiectarea unui instrument Retea Petri Hibrida (RPH) dedicata pentru modelarea sistemelor hibride, linii reversibile de fabricatie deservite de roboti mobili echipati cu manipuloare robotice pentru modelarea componentelor temporale si cu variatie continua (Rețele Petri cu viteza constanta).

OB2) b) Proiectarea modelului HPN pentru ordonantarea operatiilor pe o linie flexibila de fabricatie. Mai intai s-au elaborat si simulat modelele cu Rețele Petri Temporizate (RPT) pentru a face liniile de mecatronică, de asamblare/dezasamblare, Hera&Horstmann, si prelucrare/reprelucrare, Festo MPS-200, complet reversibile, adica sa faca asamblare și dezamblare completă, respectiv prelucrare si reprelucrare completa. Liniile sunt deservite de un singur robot mobil echipat cu manipulator.

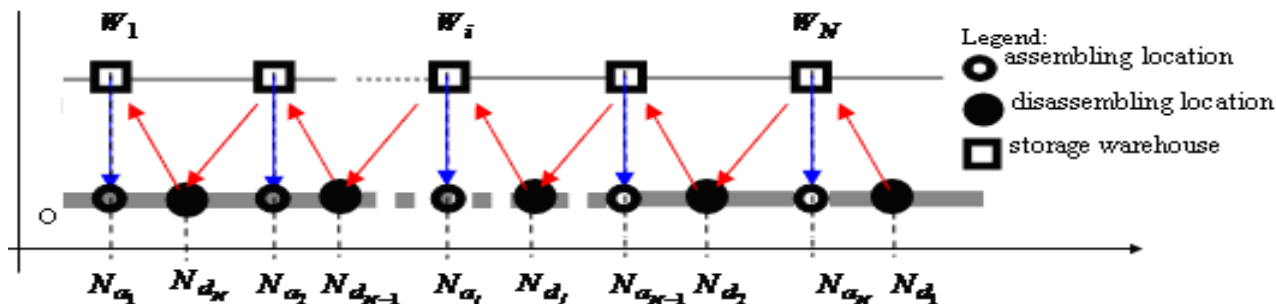


Figura 9. Distribuția locațiilor de asamblare și dezasamblare împreună cu magaziiile de depozitare pe linia Hera & Horstmann ($N=5$)

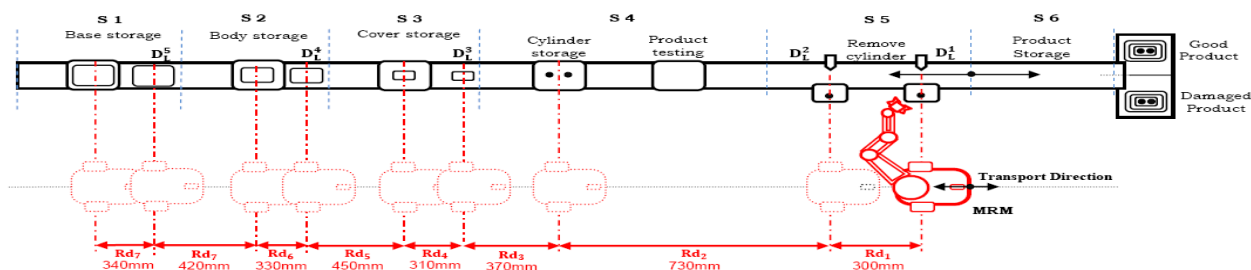


Figura 10. Linia reversibilă de asamblare/dezasamblare Hera&Horstmann deservită de robotul mobil Pioneer 3-DX echipată cu manipulatorul Pioneer 5-DOF Arm

Modelul RPT discret al liniei de asamblare/dezasamblare Hera&Horstmann deservită de robotul mobil Pioneer 3-DX echipat cu manipulatorul Pioneer 6-DOF Arm a fost diseminat prin publicațiile: **A. Radaschin, A. Voda, E. Minca, A. Filipescu**, Task Planning Algorithm in Hybrid Assembly/Disassembly Process, 14th IFAC Conference on Information Control Problems in Manufacturing, (INCOM 2012), May 23-25, 2012, Bucharest, ISSN: 1474-6670; ISBN: 978-3-902661-98-2, pp. 267-272, IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)

Adrian Filipescu, Silviu Filipescu, Eugenia Minca, Hybrid System Control of an Assembly/Disassembly Mechatronics Line Using Robotic Manipulator Mounted on Mobile Platform, The 7th IEEE Conf. on Industrial Electronics and Applications (ICIEA2012), 18-20 July, 2012, Singapore, pp. 433-438, IEEE Catalog Number CFP 1220A-CDR, ISBN: 978-1-4577-2117-5.

A. Voda, A. Radaschin, E. Minca, A. Filipescu, Control of Automatic Robot with Guided Manipulator Integrated into Flexible Manufacturing System Using Hybrid Petri Nets, IEEE International Conference on System Theorie, 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, Sinaia, 12-14, Oct, 2012 ISBN 978-606-834-848-3, IEEE Catalog Number CFP1236P-CDR.

E. Minca, V. Stefan, A. Filipescu, A. Serbencu, A. Filipescu Jr., Two Approaches in Modeling of Assembly/Disassembly Line with Integrated Manipulator Mounted on Mobile Platform, International Conference on System Theorie, 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.

S-a elaborat modelul RPT discret pentru a face reversibilă linia de mecatronică de prelucrare FESTO MPS-200, adică să execute și reprecizarea. De menționat că această linie de mecatronică împreună cu echipamentele aferente de conducere a fost achiziționată prin proiect. Modelarea procesului de prelucrare pe linia flexibilă FESTO MPS-200 deservită de un robot mobil echipat cu



manipulator utilizând RPT este prezentată în Figura 11. Modelul RPT discret al linii de prelucrare/reprelucrare FESTO MPS-200 deservita de robotul mobil Pioneer 3-DX echipat cu manipulatorul Pioneer 6-DOF Arm a fost diseminat prin publicatia:

A. Filipescu Jr., G. Petrea, A. Filipescu, E. Minca, S. Filipescu-Discrete modelling based control of a processing/reprocessing mechatronics line served by an autonomous robotic system, The 4th IEEE International Symposium on Electrical, and Electronics Engineering, ISEEE 2013, 11-13, Oct, Galati, 2013, 978-1-4799-2442-4/13/\$31.00 ©2013 IEEE

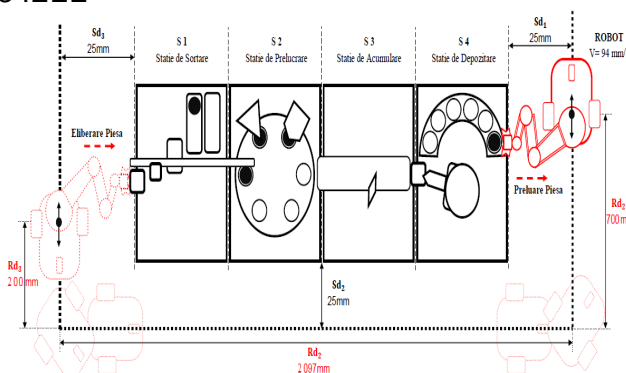


Fig. 11. Linia FESTO MPS-200 deservita de robotul mobil Pioneer 3-DX echipat cu manipulator

Pentru elaborarea modelului global al asamblării și/sau dezasamblării, se va considera aspectul hibrid al procesului de asamblare/dezasamblare, proces deservit de platforma mobilă. Instrumentul dedicat modelării sunt Synchronised Hybrid Petri Nets (SHPN) care integrează atât aspectul discret (în modelarea proceselor de asamblare/dezasamblare) dar și cel continuu, deplasarea robotului mobil (wheeled mobile robot- WMR) și acțiunile lui de manipulare (robotic manipulator-RM) a componentelor. Modelul final este de tip SHPN (Temporized Petri Nets, TPN, Temporized Hybrid Petri Nets, THPN) deoarece este interfațat cu evenimente externe de sincronizare, într-o abordare a modelării/simulării în timp real (Figurile 12 și 13).

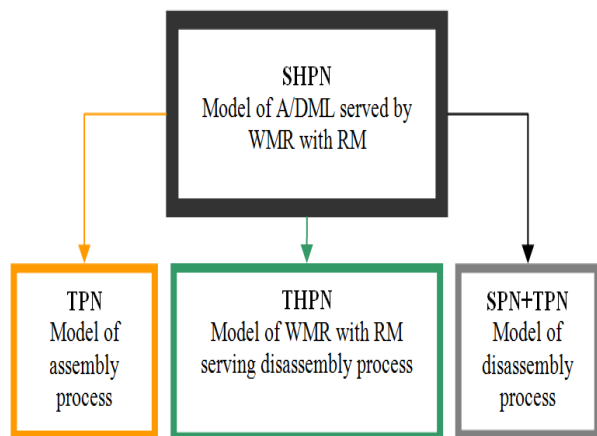


Fig. 12. Structura modelului hibrid sincronizat

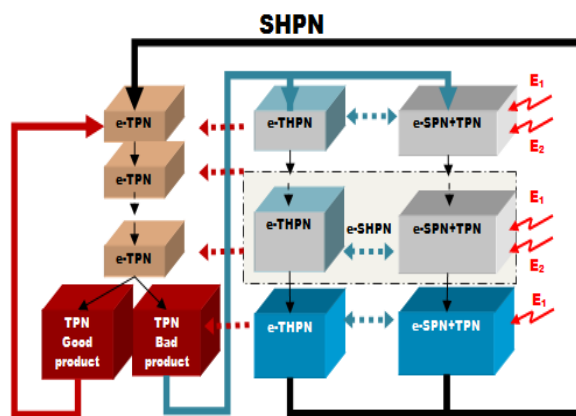


Fig. 13. Module elementare e-TPN și e-SHPN

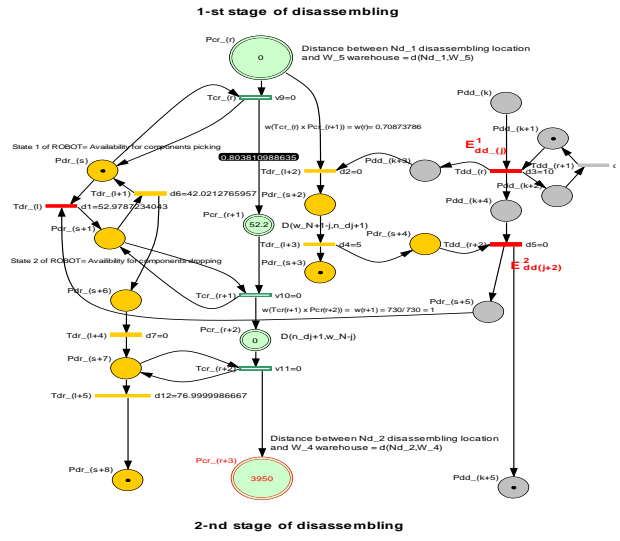
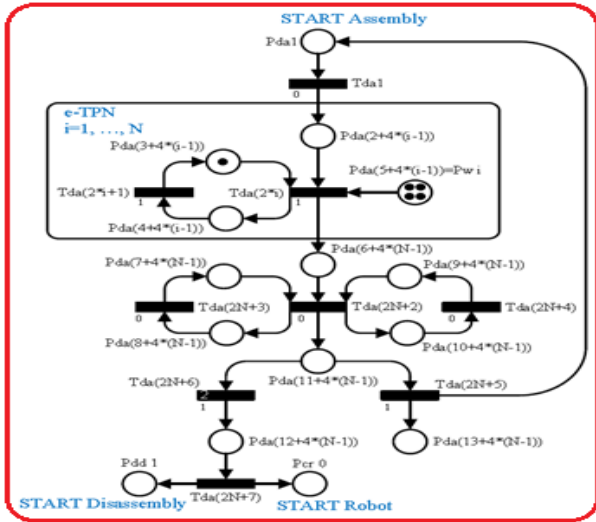


Fig. 14. Modelul TPN asamblare pe linia H&H **Fig. 15.** Modelul e-SHPN, prima dezasmblare

Modelul RPH al liniei de asamblare /dezasmblare Hera&Horstmann a fost simulat in mediul Sirphyco iar rezultatele sunt prezentate in figura 16. Se costata din simulare ca evolutia sistemului respecta distantele din figura 10.

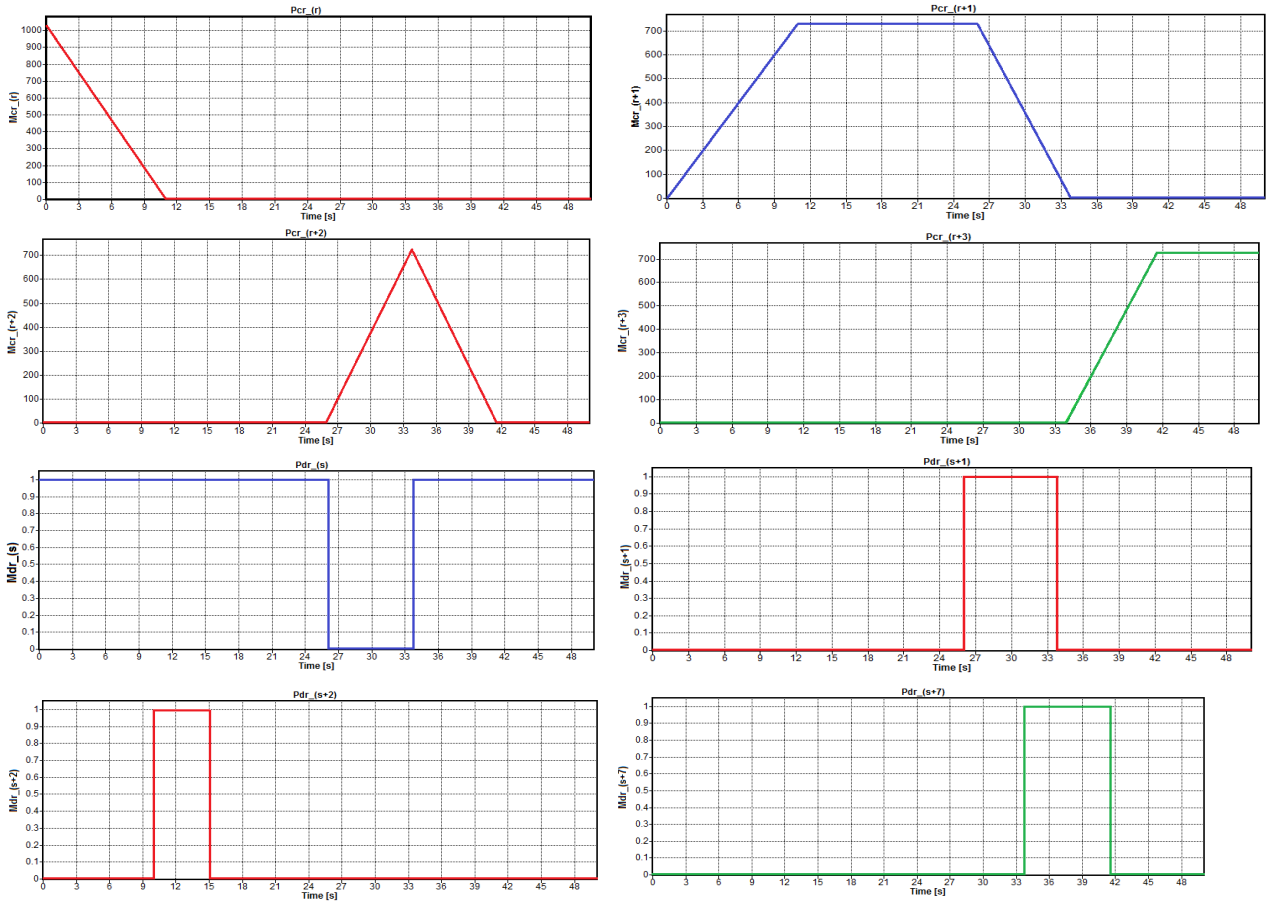




Fig. 16. Variatia starilor continue si discrete asociate deplasarilor platformei mobile echipata cu manipulator corespunzatoare primei perioade de dezasamblare.

Modelul hybrid RPHS al linei de asamblare/dezasamblare Hera&Horstmann deservita de robotul mobil Pioneer 3-DX echipat cu manipulatorul Pioneer 6-DOF Arm a fost disseminat prin publicatiile:

E. Minca, V. Stefan, A. Filipescu, A. Serbencu, A. Filipescu 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.

Eugenia Minca, Adrian Filipescu and Alina Voda,-New Approach in Control of Assembly/Disassembly Line Served by Robotic Manipulator Mounted on Mobile Platform, 2012 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO 2012), ISBN:978-1-4673-2126-3, pp.235-240. 11-14 Dec, 2012, Guangzhou, China.

A. Filipescu, E. Minca, A. Filipescu Jr., G. Petrea, 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, ISSN 1221-454X, YEAR 2012: VOLUME 35, NUMBER 1, ELECTROTECHNICS, ELECTRONICS, AUTOMATIC CONTROL, INFORMATICS, pp.17-22.

Minca, E.-A FUZZY APPROACH OF THE OPTIMAL ANALYSIS BASED OF FAILURE STATES IN MANUFACTURING SYSTEMS, THE ANNALS OF “DUNĂREA DE JOS” UNIVERSITY OF GALATI FASCICLE III, ISSN 1221-454X, YEAR 2012: VOLUME 35, NUMBER 1, ELECTROTECHNICS, ELECTRONICS, AUTOMATIC CONTROL, INFORMATICS, pp.5-10.

Eugenia Minca, Alina Voda Adrian Filipescu and Adriana Filipescu, 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.

Eugenia MINCA, Adrian FILIPESCU, Alina VODA, A Theoretical Approach of the Generalized Hybrid Model Based on the Control of Repetitive Processes, In Proceedings of the 9th Asia Control Conference (ASCC2013), ISBN:978-1-4673-5769-2, 23-26 June, 2013, Istanbul, Turkey.

Eugenia MINCA, Adrian FILIPESCU, Alina VODA, Modelling and Control of an Assembly/Disassembly Mechatronics Line Served by Mobile Robot with Manipulator, submitted to IFAC Elsevier Journal *Control Engineering Practice*, ISSN: 0967-0661, impact factor:1,669, manuscript number: CONENGPRAC-D-13-00474, status: under review.

Minca E., “A Theoretical Approach of the Time Cycle Optimisation Based Control of a Mechatronics Line Served by Mobile Robot, Applied Mechanics and Materials”, Vols. 321-324 (2013) pp 1666-1669, ©(2013) Trans Tech Publications, Switzerland, DOI: 10.40128/www.scientific.net/AMM.321-324.1666.

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 integreaza 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.17, 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. Structura internă a modelului SHPN integrează două modele PN, fiecare dintre ele având o tipologie specifică: TPN (Rețea Petri Temporizată) și SPN+TPN (Rețea Petri sincronizată+Rețea Petri Temporizată) și THPN (Rețea Petri Hibridă Temporizată). Aceste modele descriu următoarele operații care se execută automat: procesare (modelare cu TPN), reprocessare (modelare cu TPN) și asistență din partea WMR echipat cu RM pentru prindere piesă și aducerea ei în vederea reprocessării.

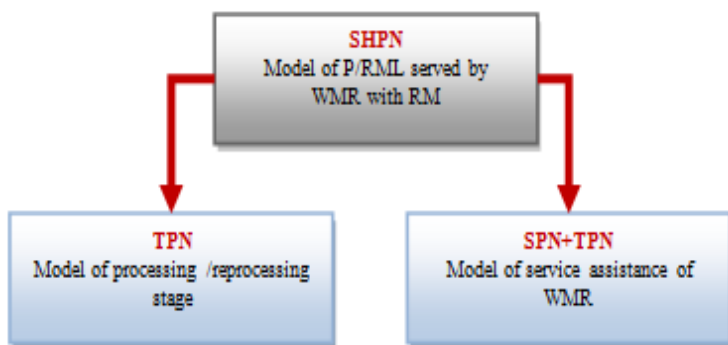


Fig.17. Structura modelului SHPN

Modelul SHPN din Fig.18 a fost testat, analizat și verificat prin intermediul pachetului Sirphyco. Utilitatea modelului SHPN constă în a găsi viteza maximă a WMR care produce timpul minim al ciclului general asociat P/R. Această viteză trebuie să corespundă caracteristicilor și limitărilor constructive ale WMR. În fig.19 este prezentat răspunsul simulat al stărilor continue și discrete ale WMR echipat cu RM pentru modelul HPN din Fig.18. Marcile stărilor continue ale WMR, înainte și după simulare urmăresc distanțele din Fig. 11. În Fig.19 sunt prezentate duratele tranzițiilor discrete prin care P/RML execută următoarele operații: manipulare, sortare, alezare, găurire, transport și depozitare. În timpul procesării, tranzițiile care corespund stărilor procesului care se produc instantaneu au valoarea zero : $T_{dp2} = 0$, $T_{dp3} = 0$, $T_{dp9} = 0$ și $T_{dp10} = 0$. Tranzițiile pentru care s-a evidențiat o durată de execuție, au următoarele valori: $T_{dp1} = 3.5s$; $T_{dp4} = 6.9s$; $T_{dp5} = 4.8s$; $T_{dp6} = 3.9s$; $T_{dp7} = 3.4s$; $T_{dp8} = 10.9s$; $T_{dp11} = 11.8s$; $T_{dp12} = 13.3s$. După ce se realizează inițializarea WMR-ului, se așteaptă ca o piesă care nu a trecut testul de calitate să intre în acțiunea de reprocessare sau rebutare, acțiune care se derulează la prima stație de lucru după ce piesa este adusă și eliberată de WMR echipat cu RM. Prin utilizarea sistemului servoing vizual este detectată o astfel de piesă pe stația de depozitare, detectare care produce un eveniment extern care are drept efect declașarea acțiunii platformei robotice. S-au considerat necesare două semnale de sincronizare între P/RML și WMR echipat cu RM: Edd_1: semnal de sincronizare a WMR cu START PROCESSING/REPROCESSING; Edd_2: semnal de sincronizare a WMR cu P/RML pentru start REPROCESSING. Modelul hibrid, RPH, al linei de prelucrare/reprelucrare FESTO MPS-200 deservita de robotul mobil Pioneer 3-DX echipat cu manipulatorul Pioneer 6-DOF Arm a fost diseminat prin publicatia:

G. Petrea, A. Filipescu, E. Minca, A. Voda A. Filipescu Jr., A. Serbencu, Hybrid modeling based control of an processing/reprocessing mechatronics 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, 978-1-4799-2228-4/13/\$31.00 ©2013 IEEE.

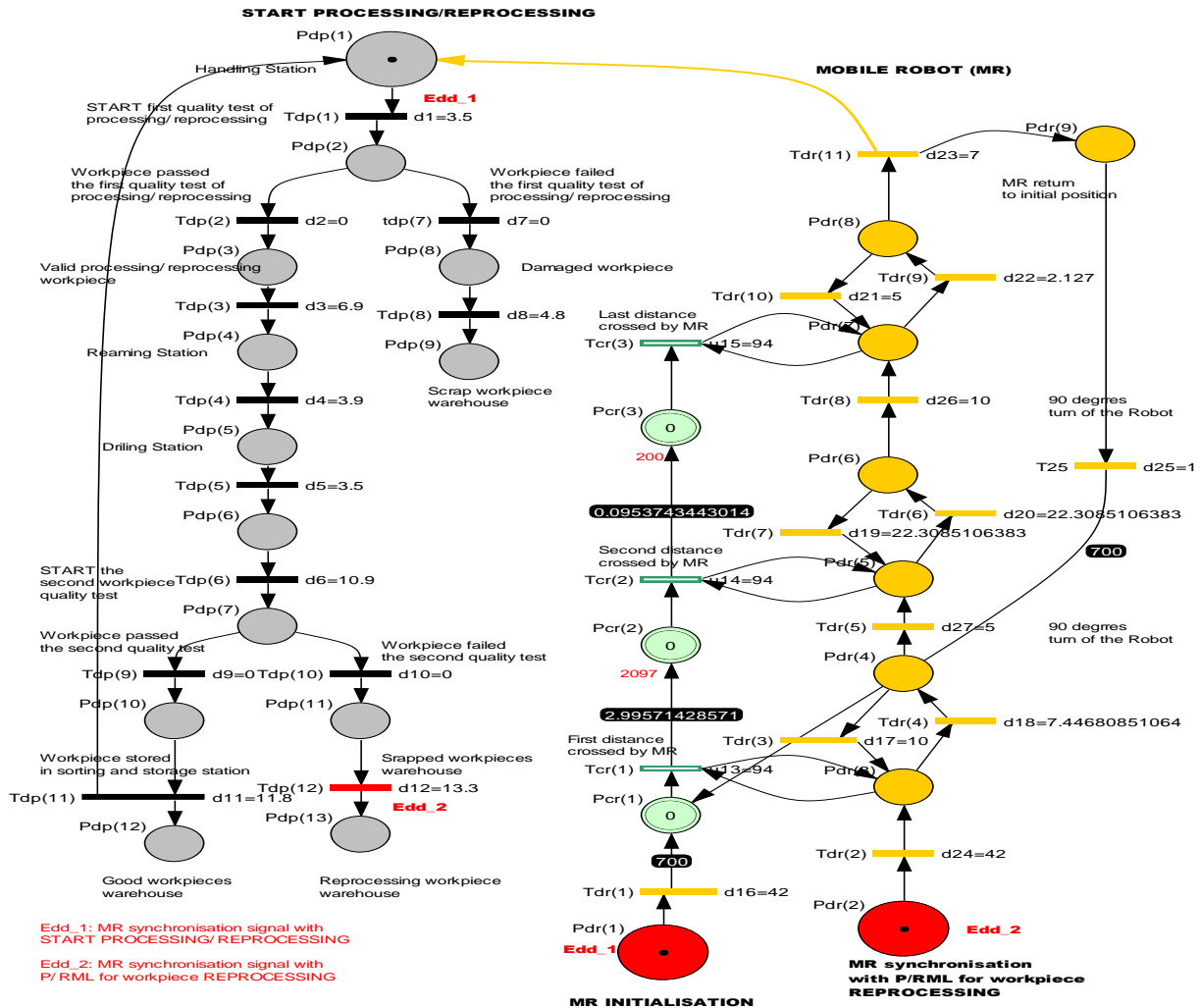
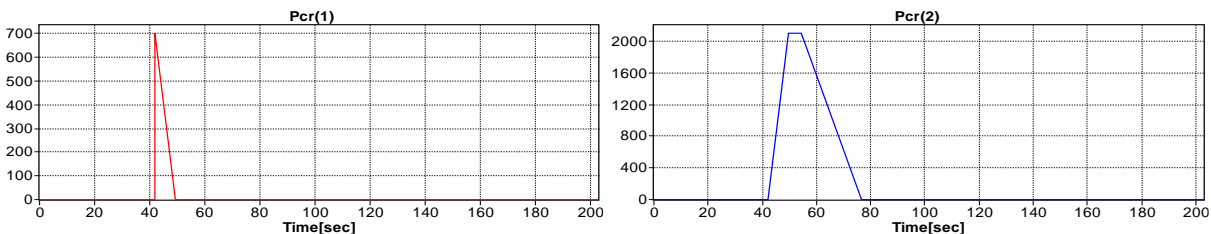


Fig.18. Modelul SHPN al WMR, Pioneer 3-DX echipat cu RM, Pioneer 5-DOF Arm integrat în P/RML FESTO MPS-200



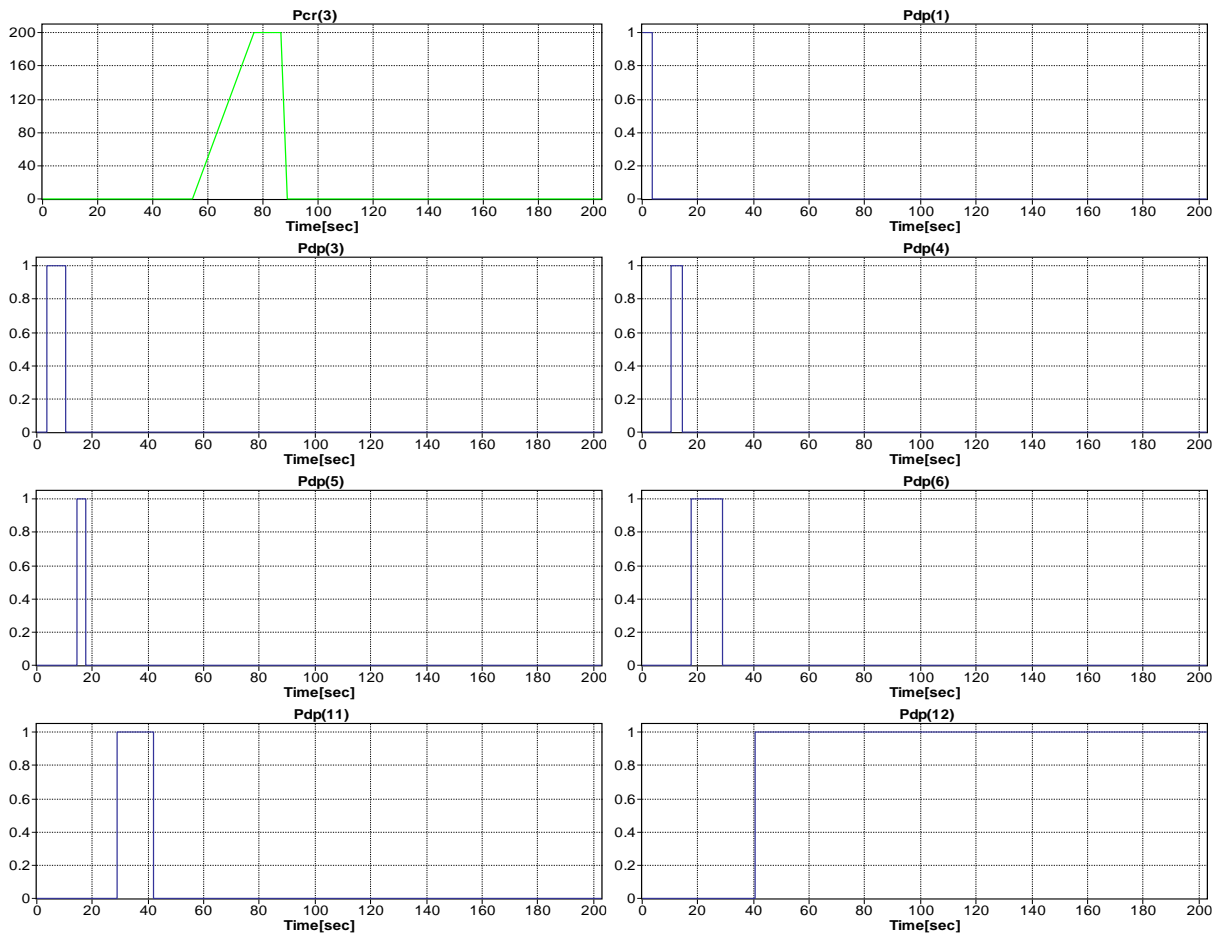


Fig.19. Variația stărilor continue și discrete ale WMR echipat cu RM integrat în P/RML

OB3) a) Proiectarea unui supervisor de timp real pentru o linie de fabricație reversibilă deservită de roboți mobili echipați cu manipuloare.

OB3) b) Proiectarea unui supervisor pentru o linie de fabricație reversibilă ținând cont de restricțiile de operare ale robotilor mobili, 2DW/1SW, 4DW/SW 2DW/2SW, care le deservesc, liniile fiind tratate ca sisteme cu evenimente discrete, restricțiile fiind generate de aplicarea procedurilor de echilibrare.

OB4)a) Proiectarea unui supervisor pentru o linie de fabricație reversibilă pentru conducerea unei linii de asamblare deservită de roboți mobili echipați cu manipuloare pentru a executa și dezasamblare

Implementarea în timp real are la bază utilizarea programului LabVIEW 2010 pentru dezvoltarea unei aplicații grafice de control și conducere a liniei flexibile HERA&Horstmann deservită de robotul mobil Pioneer P3-DX echipat cu manipulator Pioneer 6-DOF Arm în procesul de asamblare și dezasamblare completă a unui produs. Prin această aplicație se va conduce în timp real procesul de asamblare/dezasamblare și se va sincroniza robotul mobil astfel încât să se execute operații de dezasamblare concomitent cu operațiile robotului mobil. Programarea proceselor automatizate de asamblare/dezasamblare pe linia mecatronică se realizează prin programarea modulelor AP SIEMENS în limbajul de programare dedicat Simatic STEP 7. Comunicarea dintre AP al liniei flexibile HERA & Horstmann și stația de lucru care asigură sincronizarea cu platforma robotică se face prin intermediul plăcii de achiziție DAQ NI USB-6008, Figura 20. Interfața grafică de conducere, realizată în mediul LabVIEW, este prezentată în Figura 21. Programul de conducere a



întregului proces de asamblare și dezasamblare este împărțit în două bucle locale de conducere, Figura 22.

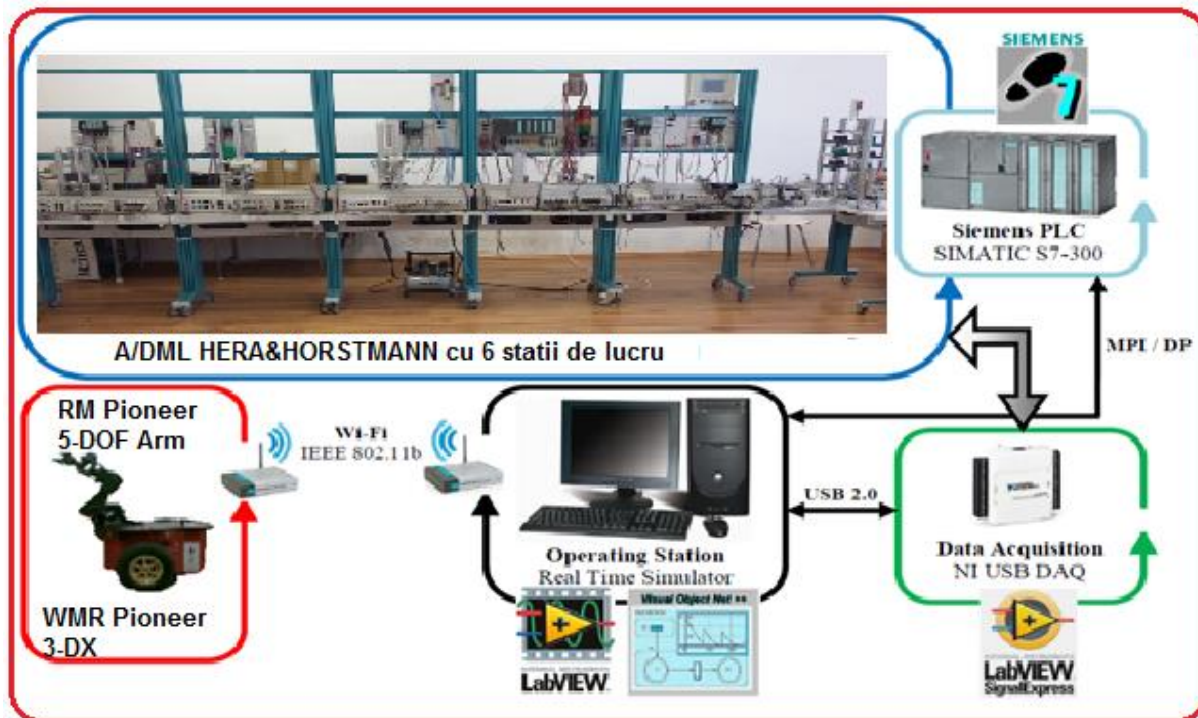


Fig. 20. Schema bloc a comunicației dintre echipamentele utilizate în conducerea liniei flexibile HERA & Horstmann deservită de un robot mobil Pioneer P3-DX

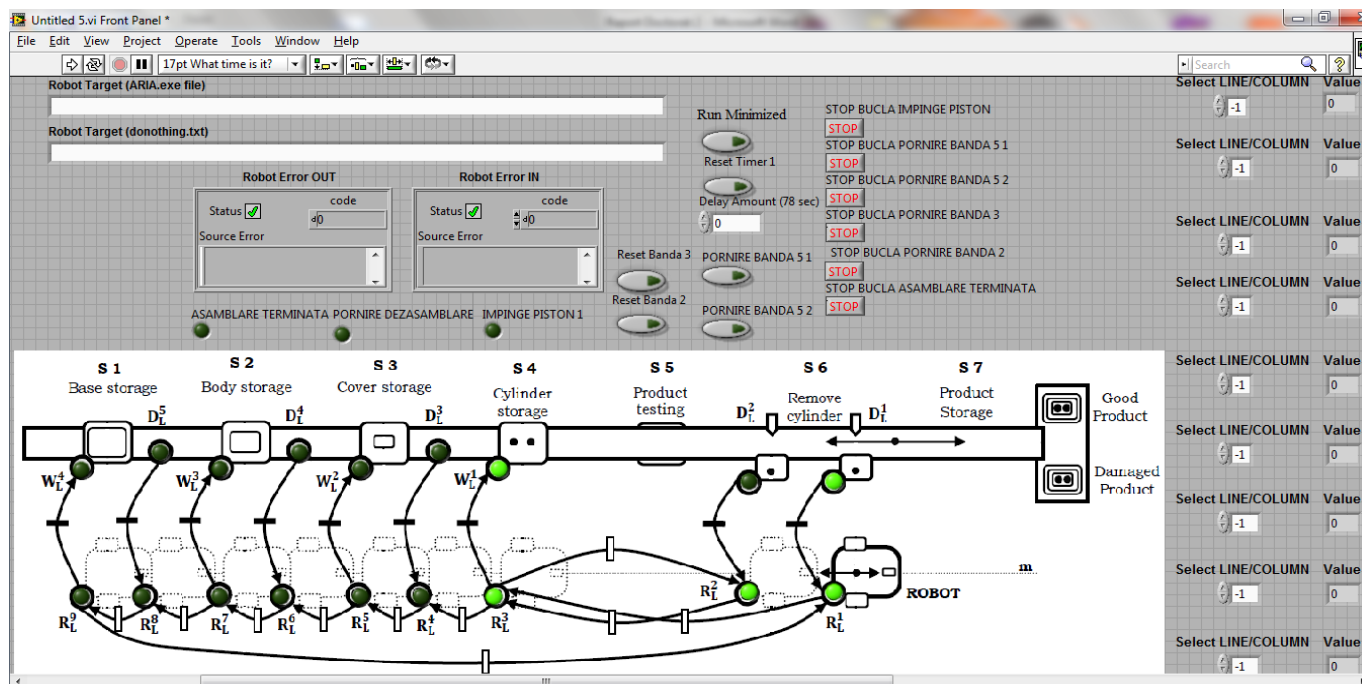


Fig. 21. Interfața grafică de conducere în mediul LabVIEW



Prima buclă de conducere are ca obiectiv controlul procesului de asamblare/dezasamblare a liniei flexibile HERA & Horstmann. Această buclă de conducere este implementată în automatul programabil SIEMENS S7-300 cu procesor 314-2 DP și programată în mediul de programare Simatic STEP 7. A doua buclă de conducere locală o reprezintă algoritmul de conducere al robotului mobil Pioneer P3-DX echipat cu manipulator. Algoritmul de conducere este implementat într-un fișier de tip executabil care este lansat în aplicație de programul LabVIEW. În urma derulării fișierului executabil sunt scrise în fișiere de tip .txt variabile care reprezintă poziția robotului mobil echipat cu manipulator din cadrul procesului de dezasamblare. Programul LabVIEW citește variabilele din fișierele .txt, actualizează interfața grafică cu noua poziție a robotului și intervine în algoritmul de sincronizare al operațiilor de dezasamblare deservită de robotul mobil echipat cu manipulator.

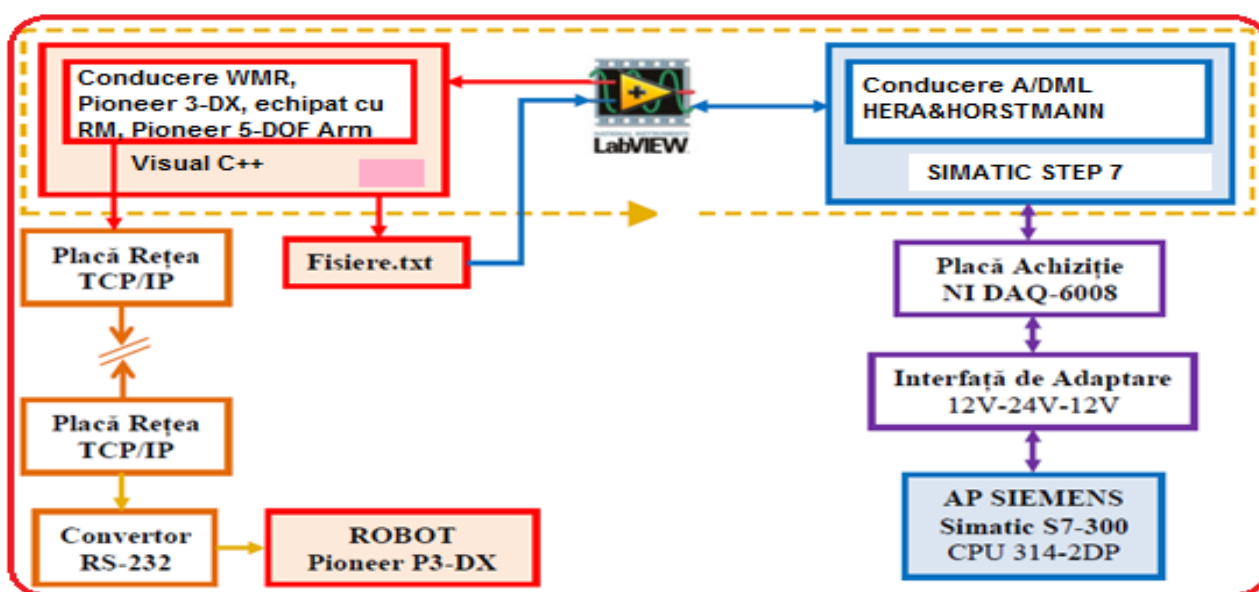


Fig. 22. Schema bloc a programului de conducere în timp real din mediul LabVIEW

În cadrul procesului de testare în timp real din mediul de programare grafică LabVIEW se poate observa în Figura 23 evoluția operației de dezasamblare a unei componente, prin preluarea de către manipulator a primului cilindru, transportul acestuia cu ajutorul platformei mobile până la deposit și eliberarea acestuia. În Figura 24 este prezentată evoluția întregului proces de dezasamblare a unui produs și momentele în care manipulatorul deservește linia flexibilă. În Figura 30 se observă acțiunile de deplasare a robotului mobil în cadrul procesului de dezasamblare și operațiile manipulatorului. Principalele contribuții rezultate în urma implementării aplicației de conducere în timp real au vizat, în mod deosebit, elaborarea unei noi structuri flexibile de fabricație capabilă să îndeplinească sarcini multiple cu aceleași echipamente în cadrul diferitelor procese de fabricație. Rezultatele implementării au urmărit deservirea proceselor flexibile de fabricație de către o platformă mobilă echipată cu manipulator robotic capabilă să îndeplinească două sarcini diferite, transport și manipulare. Principalele rezultate obținute în cadrul proiectului, până în prezent au fost:

1. Conducerea robotilor mobili si vehiculelor autonome, echipate cu manipuloare in vederea transportului si manularii de sarcini variabile de diferite greutati si dimensiuni ;
2. Modelarea cu RPT a liniilor de mecatronica, de asamblare/dezasamblare si prelucrare/repelurare;
3. Modelarea cu RPH a liniilor de mecatronica, de asamblare/dezasamblare si prelucrare/repelurare



4. Dezvoltarea și implementarea unei aplicații grafice de control și conducere în timp real a sistemului flexibil de asamblare și dezasamblare a unui produs, deservit de un robot mobil echipat cu manipulator;
5. dezvoltarea și implementarea unei metode de sincronizare a echipamentelor prin introducerea sistemului distribuit de conducere.

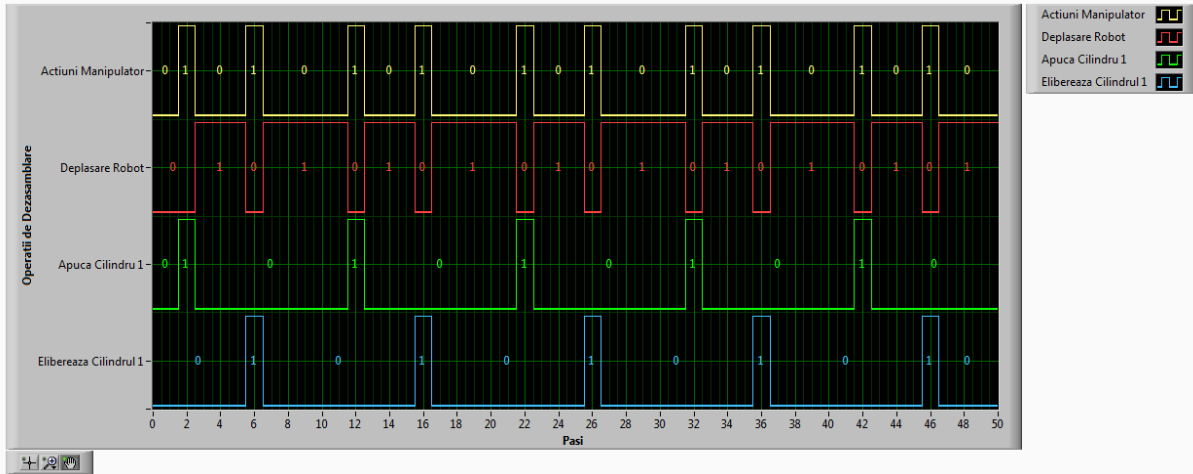


Fig. 23. Operația de dezasamblare a unei componente

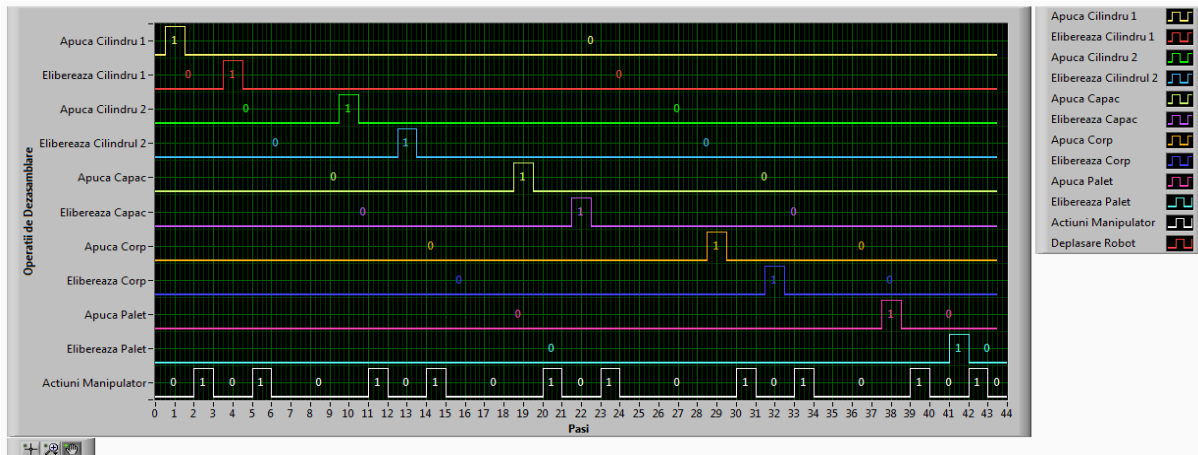


Fig. 24. Operațiile de dezasamblare a unui produs

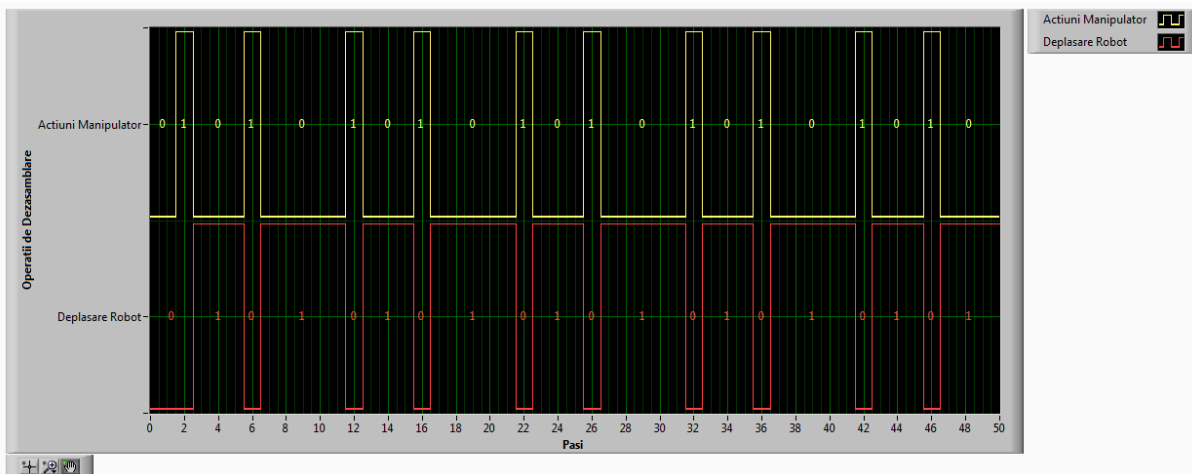


Fig.25. Operațiile robotului mobil Pioneer P3-DX echipat cu manipulatorul 5-DOF Arm

ETAPA 4, 2014 Urmatoarele obiective din propunerea de proiect fac parte din obiectul cercetarii in anul 2014:

OB. 4.1. Proiectarea supervisorului pentru conducerea liniei de mecatronică, de prelucrare/reprelucrare, FESTO-MPS- 200 și conducerea sliding-mode a robotului mobil Pioneer 3-DX echipat cu manipulatorul Pioneer 5-DOF Arm care deservește linia în procesul de reprelucrare. Proiectarea sistemului servoing vizual pentru manipulatorul Pioneer 3-DX Conducerea liniei de mecatronica de prelucrare/reprelucrare FESTO MPS-200, cu supervisorul implementat in Labview a fost diseminata prin publicatia:

Filipescu Adriana, Petrea George, Filipescu Adrian, Filipescu Silviu, 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.

OB. 4.2. Proiectarea supervisorului pentru conducerea și echilibrarea liniei de mecatronica, reversibile, de asamblare/dezasamblare HERA&HORSTMANN și conducerea sliding-mode a următorilor roboți mobili deservind linia reversibilă în procesul de dezasamblare: Pioneer 3-DX echipat cu manipulatorul Pioneer 5-DOF Arm; PeopleBot(2DW/1FW) și PatrolBot (2DW/2SW) echipați cu manipulatorul 5-DOF Cyton Premium; PowerBot (2DW/2SW) si SEKUR (4DW/SW) echipat cu manipulatorul 5-DOF Adept Arm. Proiectarea sistemelor servoing vizuale pentru manipolatoarele Pioneer, Cyton si Adept

Pentru a face reversibila o linie flexibila de asamblare, adica sa execute si dezasamblare, se vor utiliza roboti mobili echipati cu manipolatoare robotice care vor transporta componentele din locatiile unde se efectueaza dezasamblarea catre locatiile magaziiilor de depozitare si de unde se preiau piesele pentru asamblare.

Pentru transportul pieselor de greutate mica (pana la 450g) s-a utilizat robotul mobil 2DW/1FW Pioneer 3-DX ce are montat manipulatorul cu articulatii si brate rigide Pioneer 6-DOF Arm (Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8). Supervisorul este implementat in LabView, iar sincronizarea dintre linia de mecatronica si sistemul robotic se face prin intermediul semnalelor provenite de la senzori. Conducerea ansamblului manipulator robotic-platforma mobila s-a diseminat prin lucrarile:

Filipescu Adrian, Filipescu Adriana, 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.



Eugenia Minca, Adrian Filipescu, Alina Voda, Modelling and control of an assembly/disassembly mechatronics line, served by mobile robot with manipulator, Control Engineering Practice vol. 31 (2014) pp. 50–62, ISSN: 0967-0661, DOI: 10.1016/j.conengprac.2014.06.005, 0967-0661/& 2014 Elsevier Ltd. All rights reserved (impact factor 2.347)

In cadrul supervisorului s-a prevazut si o secventa pentru minimizarea timpului total de ciclu. Acest rezultat s-a diseminat prin publicatiile:

Eugenia Minca, A New Approach for the Control Optimization of an Assembly/Disassembly Mechatronics Line Served by an Autonomous Robotic System, STUDIES IN INFORMATICS AND CONTROL, ISSN:1220-1766, vol.23, fascicola 1, martie, 2014, pp.1-8, factor impact:0.6

Eugenia Minca, A Generalised Approach to the Temporal Optimisation Cycle of an Assembly/Disassembly Mechatronics Line Served by Mobile Robot with Manipulator, Proceedings of the 33rd Chinese Control Conference, July 28-30, 2014, Nanjing, China, pp. pp:3881-3886, ISBN:978-988-15638-4-2, IEEE Catalog number CFP:1441A-CDR.

Supervisorul s-a proiectat in Labview pentru doua situatii;

1) Prima situatie: Linia de mecatronica, de asamblare /dezasamblare, Hera&Horstmann este deservita numai de robotul mobil Pioneer 3-DX echipat cu manipulatorul Pioneer 5-DOF Arm iar sincronizarea dintre linia de mecatronica si platforma mobila s-a facut pe baza semnalului provenite de la senzor(Fig. 9, Fig. 10, Fig. 11, Fig. 12, Fig.13).

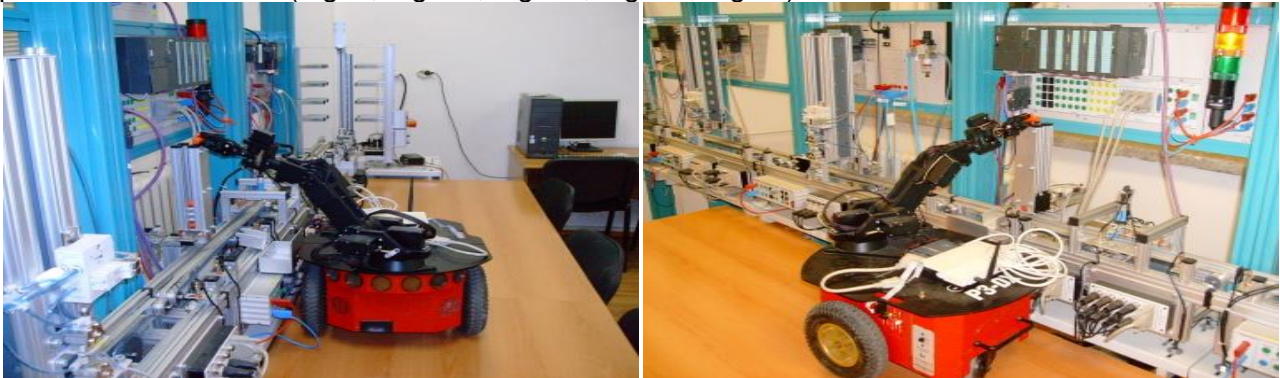


Fig. 26. Linia de mecatronica Hera&Horstmann deservita de robotul mobil Pioneer 3-DX echipat cu manipulatorul Pioneer 5-DOF Arm



Fig.27. FMML cu 6 stații de lucru, A/DML HERA&HORSTMANN

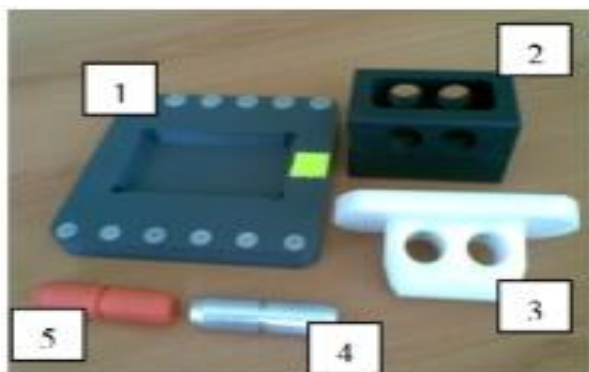


Fig.28. Componente



Fig.29. Produs final asamblat

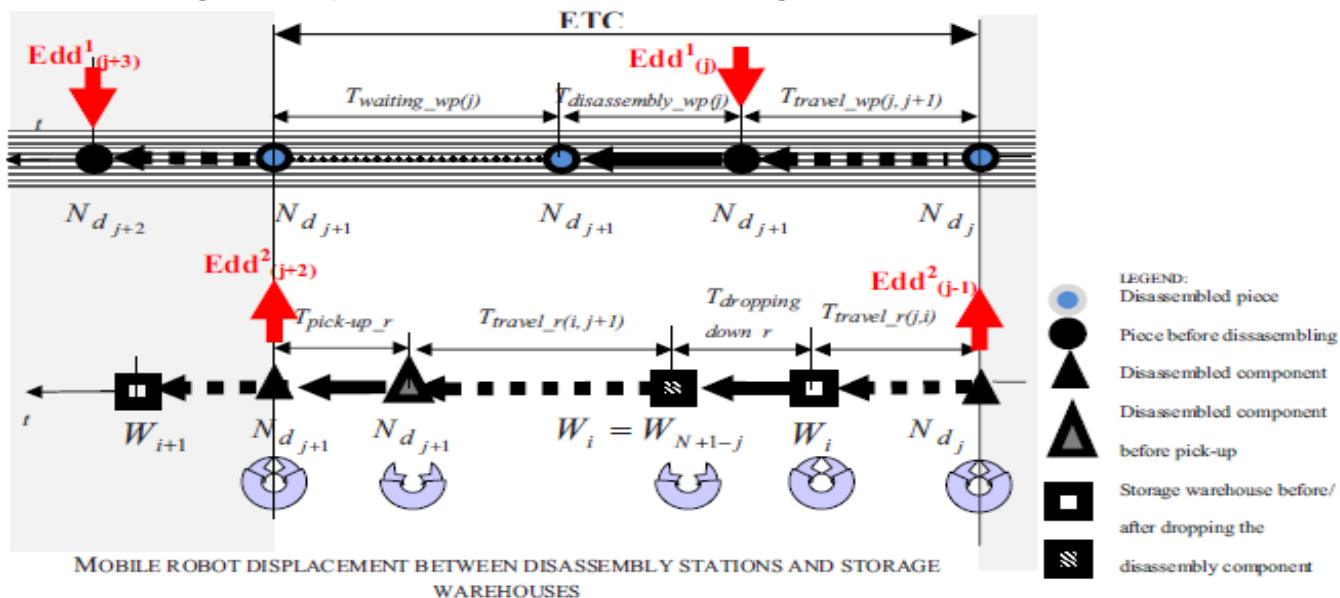


Fig. 30. Localizarea posturilor de asamblare/ dezasamblar si a magaziiilor de depozitare

Programul de conducere a întregului proces de asamblare și dezasamblare este împărțit în două bucle locale de conducere. Prima buclă de conducere are ca obiectiv controlul procesului de asamblare/dezasamblare a liniei flexibile HERA&Horstmann. Această buclă de conducere este implementată în automatul programabil SIEMENS S7-300 cu procesor 314-2 DP și programată în mediul de programare Simatic STEP 7. A doua buclă de conducere locală o reprezintă algoritmul de conducere al robotului mobil Pioneer P3-DX echipat cu manipulator. Algoritmul de conducere este implementat într-un fișier de tip executabil care este lansat în aplicație de programul LabView. În urma derulării fișierului executabil sunt scrise în fișiere de tip .txt variabile care reprezintă poziția robotului mobil echipat cu manipulator din cadrul procesului de dezasamblare. Programul LabView citește variabilele din fișierele .txt, actualizează interfața grafică cu noua poziție a robotului și intervine în algoritmul de sincronizare al operațiilor de dezasamblare deservită de robotul mobil echipat cu manipulator.

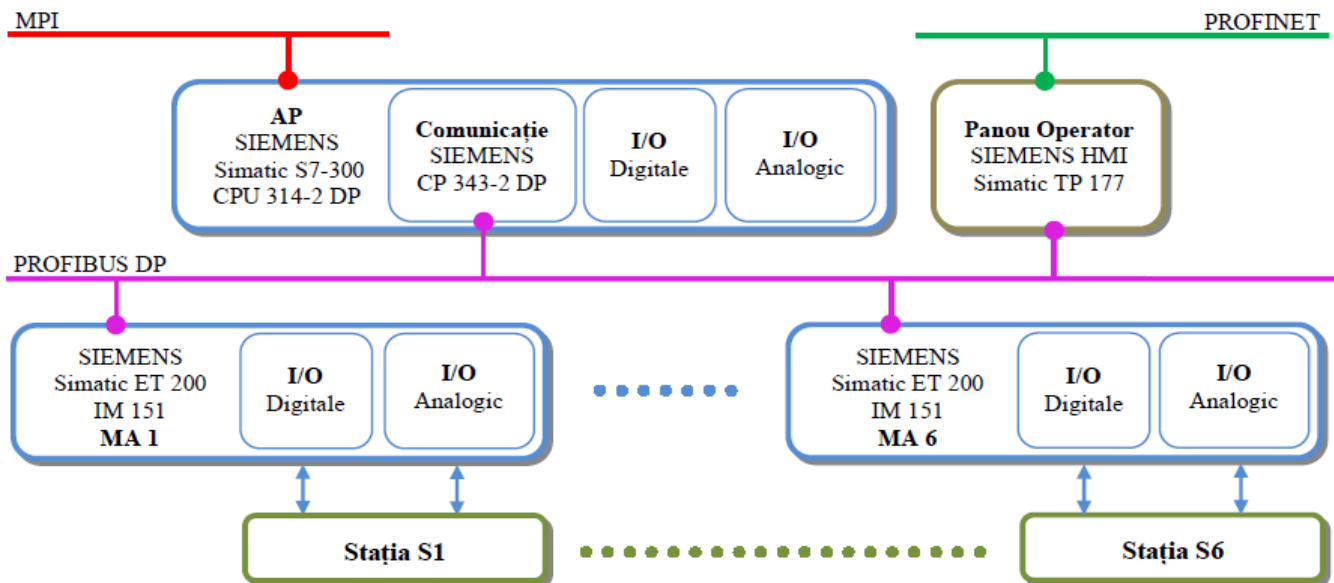


Fig.31. Structura liniei de macatronics de asamblare/dezasamblare Hera&Horstmann

2) A doua situatie Linia de mecatronics, de asamblare/dezasamblare, Hera&Horstmann este deservita de doua platforme mobile, prima platforma, Pioneer 3-DX echipat cu manipulatorul Pioneer 5-DOF Arm si a doua platforma PatrolBot. Platforma echipata cu manipulator face preluarea si depozitarea piesei dezamblate, iar platforma PatrolBot executa transportul intre locatille unde se produce dezamblare si locatille unde se afla magazille de depozitare. Sincronizarea dintre linia de mecatronics si platformele mobile se face pe baza semnalelor achizitionate de la senzori iar manipularea (preluarea si depozitarea) componente este facuta cu ajutorul unor sisteme servoing vizuale cu camere fixe pe baza prelucrării de imagini.

Pentru transportul pieselor de greutate medie (pana la 1kg) se va utiliza robotul mobil 2DW/2FW, PatrolBot (Figura 32) care permite montat manipulatorul cu articulatii si brate rigide 6-DOF Cyton 2 Premium P-Series Robot Arm.



Fig. 32. Linia de mecatronics Hera&Horstman deservita de platformele mobile: Pioneer 3-DX (echipata cu manipulatorul Pioneer) si PatrolBot, aceasta neechipata sau echipata cu manipulatorul 6-DOF Cyton 2 Premium P-Series Robot Arm

S-a elaborat documentatia pentru brevetarea (Linie de mecatronics, de asamblare/dezasamblare deservita de robot mobilechiptat cu manipulator robotic) unui sistem format dintr-o linie de



mecatronica, de asamblare/dezasamblare (assembly/disassembly mechatronics line-A/DML) deservita de un robot mobil (wheeled mobile robot-WMR) echipat cu un manipulator robotic (robotic manipulator-RM), cu scopul de a face linia reversibila, adica sa efectueze si dezasamblare. Pentru atingerea acestui scop, se propune pentru A/DML de asamblare/dezasamblare o metoda de echilibrare (assembly/disassembly line balancing A/DLB) a fluxului de productie si un model hibrid sincronizat, pe baza caruia se face conducerea in timp real a liniei. Modelul hibrid, este format dintr-o componenta cu functionare discreta, A/DML, si o componenta continua, WMR (wheeled mobile robot) echipat cu RM (robotic manipulator). Functionarea sincronizata a intregului sistem se datoreza semanlelor provenite de la senzori. Procesul de dezasamblare incepe dupa ce piesa nu trece testul de calitate la capatul procesului de asamblare. In decursul procesului de dezasamblare WMR cu RM preia componentele din locatiile unde se produce dezasamblarea si le transporta la magazii de depozitare pentru a fi reutilizate. Utilizand o platforma LabView, s-a implementat o structura de conducere in timp real care permite derularea automata a procesului de asamblare/dezasamblare, pana la epuizarea completa unui lot de productie.

OB 4.3. Proiectarea supervisorului pentru conducerea si echilibrarea liniei de prelucrare/reprelucrare FESTO-MPS, și conducerea sliding-mode a următorilor roboți mobili care deserveșc linia in procesul de reprelucrare: Pioneer 3-DX echipat cu manipulatorul Pioneer 5-DOF Arm; PeopleBot(2DW/1FW) și PatrolBot (2DW/2SW) echipați cu manipulatorul 5-DOF Cyton Premium,

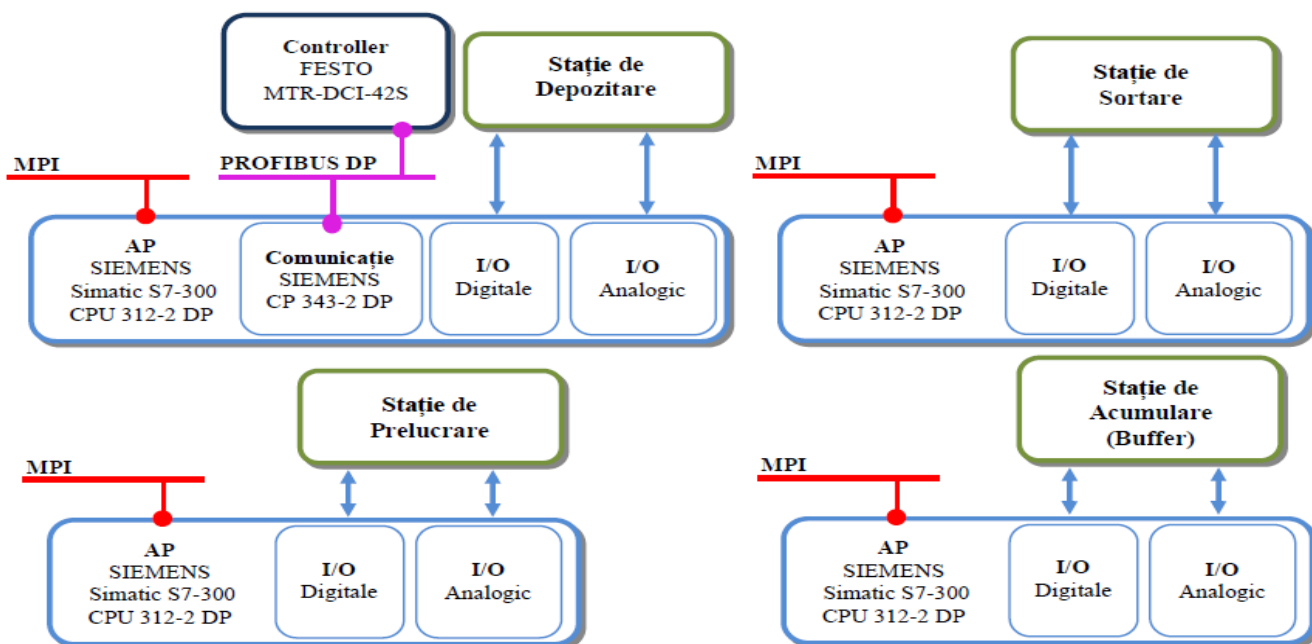


Fig. 33. Structura liniei de prelucrare/reprelucrare FESTO MPS-200

S-a proiectat supervisorul in Labview pentru linia de mecatronica de prelucrare/reprelucrare FESTO MPS-200 deservita doua paltforme, Pioneer 3-DX si PeopleBot. Platforma mobila Pioneer 3-DX este echipata cu manipulatorul Pioneer 5-DOF Arm, este utilizata la preluarea de pe statia de depozitare a pieselor care necesita reprelucrare sau rebutare si depozitarea pe platforma superioara a robotului mobil PeopleBot pentru a fi trasportate la inceputul liniei, la statia de manipulare (handling)(Fig.16. Platforma PeopleBot are montat manipulatorul Cyton.6-DOF Cyton 2 Premium P-Series Robot Arm. Sincronizarea dintre linia de mecatronica si robotul mobil Pioneer 3-

DX se face cu ajutorul unui sistem servoing vizual cu camera fixa. Pozitionarea platformei mobile si a manipulatorului pentru a prelua piesa este facuta pe baza prelucrării de imagine, imagine furnizata de o camera postata la sfarsitul liniei de mecatronica, pe statia de depozitare si sortare. Transportul la inceputul liniei al piesei care este supusa la rereluare se face cu robotul mobil PeopleBot cu ajutorul unui algoritm de conducere sliding-mode. Depozitarea piesei pe statia de manipulare este facuta cu manipulatorul robotic Cyton.6-DOF Cyton 2 Premium P-Series Robot Arm (Fig. 34).

Platforma mobila Pioneer 3-DX este echipata cu manipulatorul Pioneer 5-DOF Arm, fiind utilizata la preluarea de pe statia de depozitare a pieselor care necesita rereluare sau rebutare si depozitarea pe platforma superioara a robotului mobil PeopleBot pentru a fi transportata la inceputul liniei, la statia de manipulare (handling). Manipulatorul robotic 6-DOF Cyton 2 Premium P-Series Robot Arm este montat in pozitie fixa la inceputul liniei de mecatronica si este utilizat pentru preluarea pieselor de pe platforma superioara a platformei mobile PeopleBot si a le pozitiona pe statia de manipulare pentru a fi reintroduse in procesul de prelucrare sau a fi rebutate. Actionarea platformelor mobile cu motor sincron cu magneti permanenti a fost diseminata prin lucrarea:

S. Filipescu, A. Filipescu, Speed Estimators Based Control of Permanent Magnet Synchronous Motor, Proceedings of the 18th IEEE, International Conference on System Theory, Control and Computing, ICSTCC2014 17-19, Oct. Sinaia, 2014, pp.897-902, ISBN 978-1-4799-4602-0 ©2014 IEEE

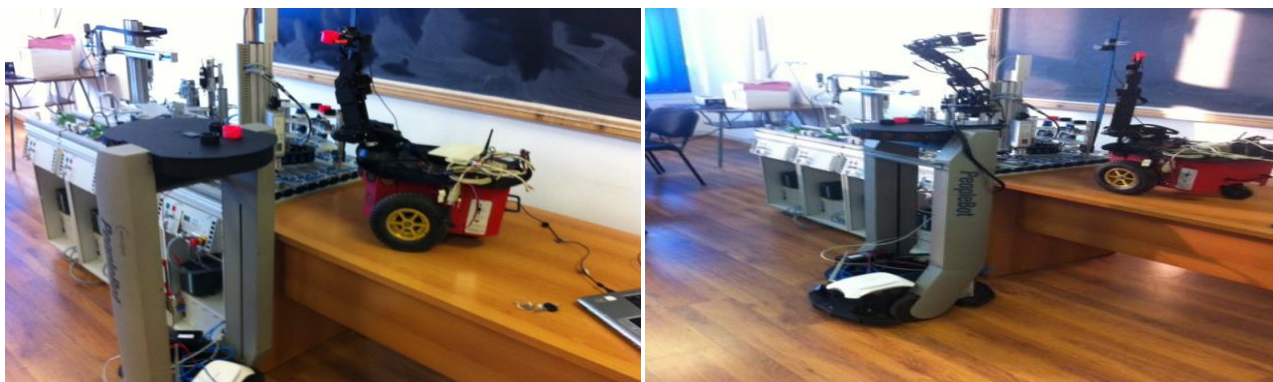


Fig. 34. Linia de mecatronica FESTO MPS-200 deservita de platformele mobile: Pioneer 3-DX (echipata cu manipulatorul Pioneer) si PeopleBot, aceasta neechipata sau echipata cu manipulatorul 6-DOF Cyton 2 Premium P-Series Robot Arm

ETAPA 5, Anul 2015

Mai jos, se raporteaza rezultate stiintifice obtinute si diseminarea lor la fiecare din cele 3 obiective din anexa IV, parte componenta a actului aditional nr. 1 pe 2015:

A fost aprobata nota justificativa de mai jos în vederea actualizării obiectivelor proiectului pentru anii 2015 și 2016

Nota Justificativă,

privind modificarea planului de realizare din actul aditional aferent anului 2015 la proiectul PN-II-ID-PCE-2011-3-0641

Obiectivul 5.2, prevazut initial pentru 2015: Conducerea în timp real și echilibrarea liniei de mecatronica, reversibile, de asamblare/dezasamblare HERA&HORSTMANN și conducerea



sliding-mode a următorilor roboți mobili deservind linia reversibilă în procesul de dezasamblare: Pioneer 3-DX echipat cu manipulatorul Pioneer 5-DOF Arm; PeopleBot(2DW/1FW) și PatrolBot (2DW/2SW) echipați cu manipulatorul 5-DOF Cyton Premium; PowerBot (2DW/2SW) și SEKUR (4DW/SW) echipat cu manipulatorul 5-DOF Adept Arm. Implementarea în timp real a sistemelor servoing vizuale pentru manipuloarele Pioneer, Cyton și Adept

Obiectivul 5.2 actualizat pentru 2015: Conducerea în timp real și echilibrarea liniei de mecatronica, de asamblare/dezasamblare HERA&HORSTMANN. Conducerea sliding-mode a doua sisteme roboce autonome deservind linia reversibilă în procesul de dezasamblare: Pioneer 3-DX (2DW/1FW) echipat cu manipulatorul Pioneer 5-DOF Arm și PatrolBot (2DW/2SW) echipați cu manipulatorul 5-DOF Cyton Premium.

Justificare: Bugetul alocat proiectului în anul 2015 nu permite achiziționarea a doua manipuloare Cyton. Se renunță la a deservi linia de mecatronica de către robotul mobil PeopleBot care nu mai poate fi echipat cu manipulator.

Bugetul alocat proiectului în anul 2015 nu permite achiziționarea a doua manipuloare Adept. Se renunță la a deservi linia de mecatronica de către robotii mobili PowerBot și SEEKUR care nu mai pot fi echipate cu manipuloare.

Obiectivul 5.3 prevazut initial pentru 2015: Conducerea în timp real și echilibrarea liniei de prelucrare/reprelucrare FESTO-MPS, și conducerea sliding-mode a următorilor roboți mobili care deservesc linia în procesul de reprelucrare: Pioneer 3-DX echipat cu manipulatorul Pioneer 5-DOF Arm; PeopleBot(2DW/1FW) și PatrolBot (2DW/2SW) echipați cu manipulatorul 5-DOF Cyton Premium. Implementarea în timp real a sistemului servoing vizual pentru manipuloarele Cyton 1500 și 300.

Obiectivul 5.3 modificat pentru 2015: Conducerea în timp real și echilibrarea liniei de prelucrare/reprelucrare FESTO-MPS. Conducerea sliding-mode a doua sisteme robotice autonome care deservesc linia pentru procesul de reprelucrare: Pioneer 3-DX (2DW/1FW) echipat cu manipulatorul Pioneer 5-DOF Arm și PatrolBot (2DW/2FW) echipat cu manipulatorul 5-DOF Cyton Premium. Implementarea în timp real a sistemului servoing vizual pentru manipuloarele Pioneer și Cyton.

Justificare: Bugetul alocat proiectului în anul 2015 nu permite achiziționarea a doua manipuloare Cyton. Se renunță la a deservi linia de mecatronica de către robotul mobil PeopleBot care nu mai poate fi echipat cu manipulator.

Mentionăm, ca obiectivele prevazute pentru anul 2016, 6.1 și 6.2, împreună cu activitățile aferente, s-au introdus în acord cu modificările aduse obiectivelor 5.2 și 5.3, din 2015. Atât modificările obiectivelor pe 2015 cât și obiectivele și activitățile prevazute pentru 2016, nu schimbă cu nimic sensul proiectului.

20.03.2015

Director proiect

Alina VODA 

ETAPA 5, Anul 2015

OB. 5.1. Conducerea în timp real și echilibrarea liniei de mecatronică, de prelucrare/reprelucrare FESTO-MPS-200 (processing/reprocessing mechatronics line-P/RML) și conducerea sliding-mode a robotului mobil (wheeled mobile robot-WMR) Pioneer 3-DX echipat cu manipulatorul (robotic manipulator-RM) Pioneer 5-DOF Arm care deservește linia în procesul de reprelucrare. Implementarea în timp real a sistemului servoing vizual pentru manipulatorul Pioneer 5-DOF arm.

WMR echipat cu RM integrat în P/RML FESTO MPS-200. Descrierea hardware a P/RML FESTO MPS-200

Configurația P/RML, FESTO MPS-200, Fig.35, conține 4 stații de lucru care procesează o piesă, Fig.36, 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. Fiecare stație este echipată cu un PLC, SIEMENS SIMATIC S7-300. La stadiul actual, se consideră că P/RML este deservită de un singur WMR, Pioneer 3DX, echipat cu RM, Pioneer5-DOF Arm.

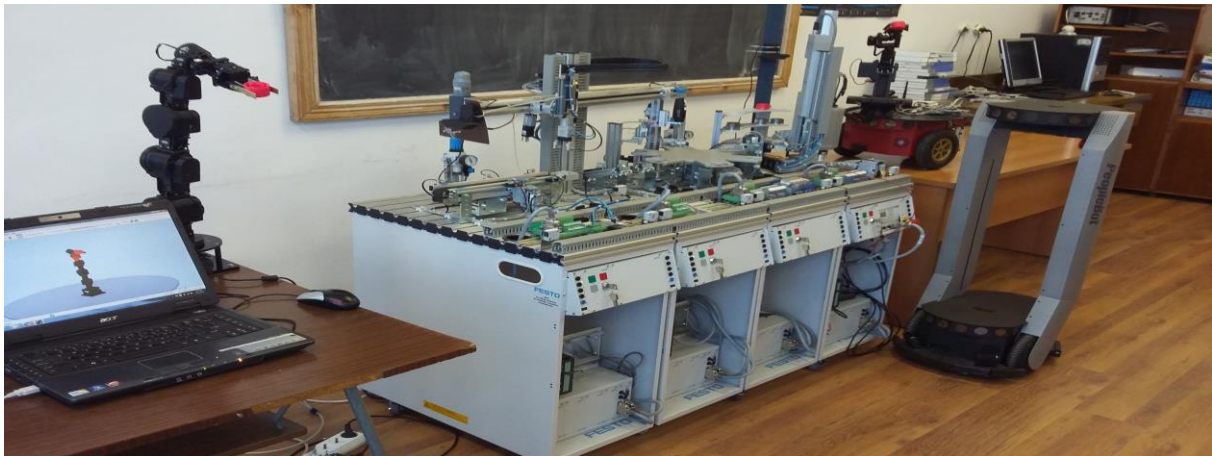


Fig.35. FMML, P/RML FESTO-MPS 200 deservită de WMRs, Pioneer 3-DX, PeopleBot, și RMs, Pioneer 5-DOF Arm și Cyton 1500

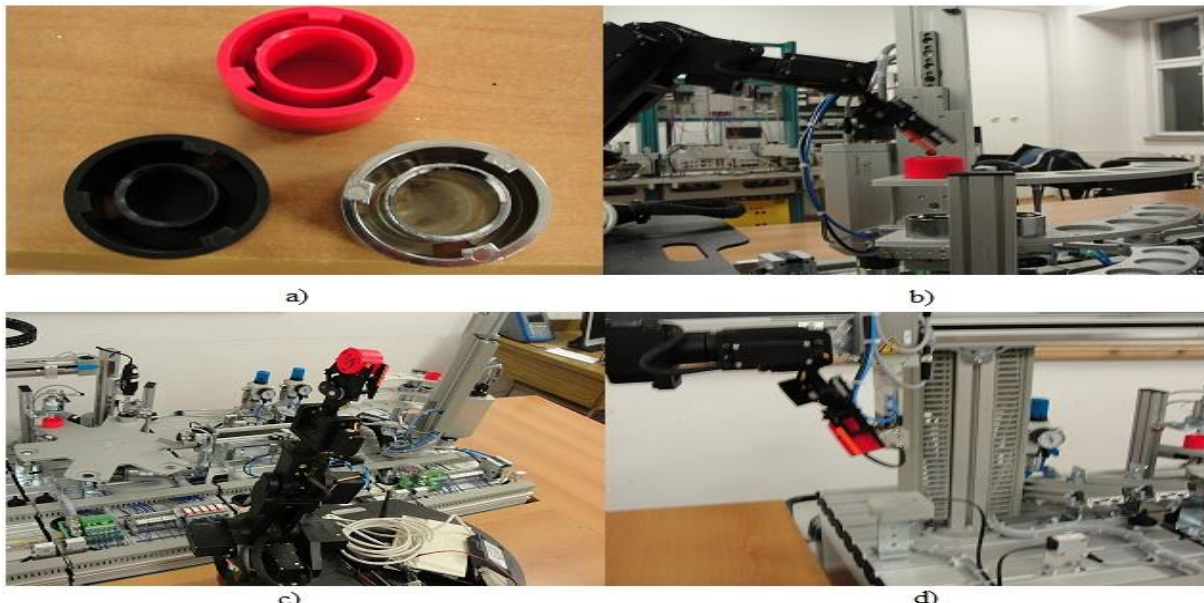


Fig.36. a) piese de lucru ; b), c) și d) WMR, Pioneer P3-DX, echipat RM, Pioneer 5-DOF, deservind P/RML, FESTO MPS-200

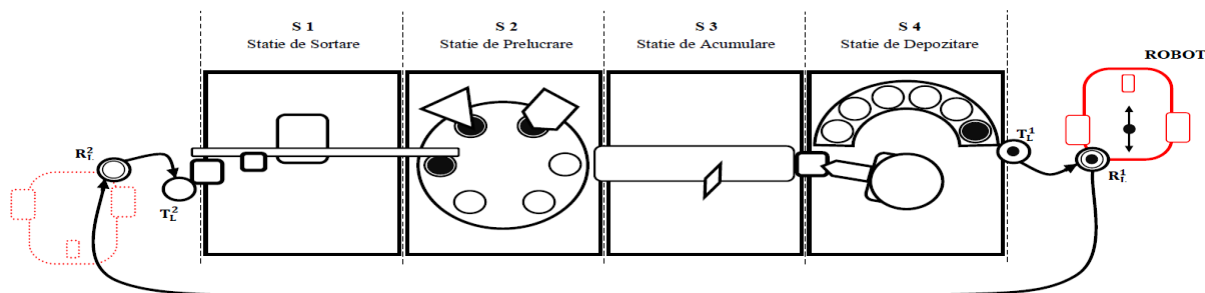


Fig.37. Pioneer 3-DX integrat în P/RML FESTO MPS-200

Se consideră următoarele operații de P/R pe FMML, FESTO MPS-200:

- prezența piesă stația S1 (manipulare/sortare) declanșează START FESTO MPS-200;
- test culoare piesă;
- transport piesă neagră la magazia de piese rebut;
- transport piesă roșie sau gri la stația S2 (prelucrare);
- START S2, transport piesă la locația de alezare;
- operație alezare;
- transport piesă la locația de găurire;
- operație găurire;
- transport piesă stația S3 (acumulare);
- transport piesă la stația S4 pe banda transportoare a stației S3;
- test culoare;
- poziționare manipulator axial, stația S4;
- apucare piesă manipulator axial;
- transport și depozitare piesă de culoare gri pe rafturile inferioare;
- transport și depozitare piesă de culoare roșie pe raftul superior;
- START WMR echipat cu RM;
- START sistem servoing vizual stația S4 și poziționare RM;
- apucare piesă;
- START ciclu deplasare WMR echipat cu RM;
- START sistem servoing vizual stația S4 și poziționare RM;
- eliberare piesă;
- START ciclu revenire la poziția inițială a WMR echipat cu RM.

Observația 1. La stația buffer sunt acumulate piese în vederea depozitării pe rafturile stației S4.

Observația 2. În urma acumulării pieselor la stația buffer, acestea sunt eliberate una câte una pentru a fi preluate cu ajutorul unui manipulator axial în vederea depozitării pe rafturi. Acumulându-se piese de diferite culori la stația buffer, la operația de depozitare, acestea sunt sortate după culoare.

Observația 3. Piesele stocate pe nivelul superior sunt considerate piese care nu satisfac parametrii de calitate și, prin urmare, vor fi aduse la prima stație, unde, supuse unui nou test, vor urma un proces de reprelucrare sau vor fi rebutate definitiv. Readucerea pieselor la prima stație se face cu WMR, iar poziționarea RM, pentru prindere și eliberare piesă, se realizează cu sistem servoing vizual.

În Fig.38, sunt prezentate secțiunile de traiectorie și distanțele pe care le parcurge WMR echipat cu RM pentru a deserv FMML, P/RML FESTO MPS-200.

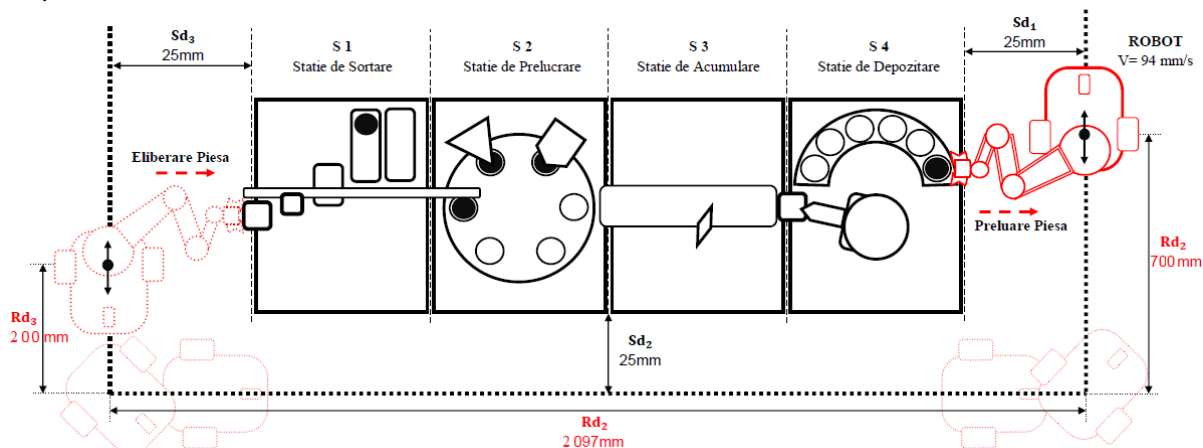


Fig.38. Secțiunile de traiectorie și distanțele parcurse de WMR

- R_L^1 : numărul și poziția locației unde se află WMR echipat cu RM în cadrul procesului de preluare a piesei;
- R_L^2 : numărul și poziția locației în care se află WMR echipat cu RM în cadrul procesului de depunere a piesei;
- T_L^1 : numărul locației unde se stochează piesa în vederea preluării acesteia de către WMR echipat cu RM;
- T_L^2 : numărul locației unde se depune piesa de către WMR echipat cu RM în vederea unei noi operații de prelucrare.

Ipoteze și planificare taskuri

I.1. În ceea ce privește natura produsului, P/RML este o linie de fabricație unimodel, deterministă, după timpii de operare (taskurile au timpii de execuției bine stabiliți) și "paced-line", după modul sincronizat cum se face transferul piesei de la o stație la alta;

I.2. P/RML are un număr fix de stații;

I.3. Reprocesarea se aplică aceluiași tip de produs;

I.4. Se consideră ca procesele de P/R sunt complete, în toți parametrii, adică sunt cunoscuți cu exactitate: timpii de execuție a taskurilor, cererea de piese, costurile;

I.5. P/RML are 4 stații de lucru, așezate în linie, iar piesa supusă reprocesării este preluată de prima stație;

I.6. Fiecărui task i se specifică timpul de execuție;

I.7. În procesele de P/R este implicată o singură piesă;

I.8. Prin convenție se stabilește că piesa finală care nu satisface parametri de calitate este de culoare roșie.

Conform ipotezelor de la **I.1** până la **I.8**, se propune planificarea taskurilor aferente liniei flexibile FMML, P/RML FESTO MPS-200, ilustrată în fig.39.

Strategia de sortare, prelucrare și depozitare este bazată pe un graf de reprezentare a produsului prelucrat în care relațiile dintre stații sunt exprimate prin săgeți. Utilizând acest graf se elaborează o planificare a taskurilor prin care se determină secvența de P/R. Dacă o componentă este validată

sau nu la testul de culoare, planificarea taskurilor furnizează cea mai bună secvență pentru efectuarea prelucrării și depozitării acesteia.

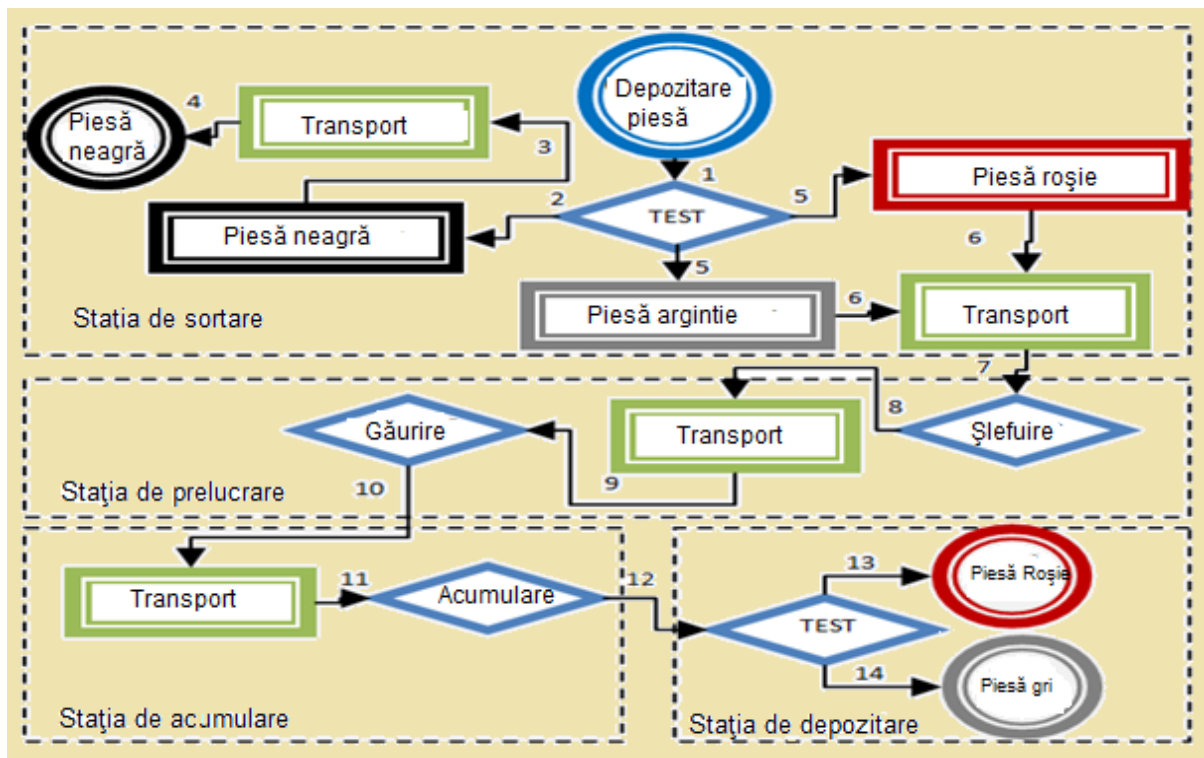


Fig.39. Planificarea taskurilor pentru sortare, alezare, găurire, acumulare și depozitare

OB. 5.2. Conducerea în timp real și echilibrarea liniei de mecatronica, de asamblare/dezasamblare HERA&HORSTMANN. Conducerea sliding-mode a doua sisteme roboce autonome deservind linia reversibilă în procesul de dezasamblare: Pioneer 3-DX (2DW/1FW) echipat cu manipulatorul Pioneer 5-DOF Arm, utilizat pentru manipulare și PatrolBot (2DW/2SW) echipați cu manipulatorul 5-DOF Cyton Premium, utilizat pentru transport; Cele doua sisteme robotice functioneaza in regim sincronizat cu linia de mecatronica.

Particularizare la A/DML HERA&HORSTMANN, deservita de doi WMRs. Descriere hardware
 A/DML (assembly/disassembly mechatronics line) HERA&HORSTMANN este deservită de doi WMRs, unul dintre ei echipat cu RM, este utilizat pentru manipulare, celălalt fiind 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. Și în acest caz, scopul este de a face A/DML reversibilă, adică sa permită și dezasamblare. Se formuleaza ipoteze și taskuri în cazul general, Fig.41, ca apoi sa se facă particularizare la A/DML, HERA&HORSTMANN care assemblează o piesă din 5 componente, așa cum este aratat în Fig.40. Cei doi WMRs, Pioneer3-DX echipat cu RM Pioneer 5-DOF Arm și PatrolBot au încorporate on-board microcontrolere care sunt în masură să furnizeze informația despre poziție pe care o transmite, via WI-FI link, la un PC aflat la distanță pe care rulează și algoritmul de conducere. Calculatorul aflat la distanță calculează comanda pe care o transmite celor doi WMRs. Comanda manipulatorului se face în buclă deschisă, eventual prin intermediul unui system servoing visual. De asemenea, PC-ul comunica și transmite date PLC-ului (SIEMENS



SIMATIC S7-300) cu care este echipat A/DML, PLC care are 5 module distribuite conectate la magistrala Profibus. Reprezentarea schematică generală a A/DML cu N stații de lucru de A/D, este prezentată în Fig.41 iar în Fig.42 este prezentată A/DML, HERA&HORSTMANN, deservită de doi WMRs, lucrând în paralel, colaborativ și sincron. La fiecare stație de lucru, WMR, Pioneer 3-DX echipat cu RM, Pioneer 5-DOF Arm, manipulează componenta eliberată prin dezasamblare și o poziționează pe WMR transportor, PatrolBoT, pentru a fi transferată și depozitată la magazia corespunzătoare, cu scopul de a fi reutilizată în procesul de asamblare.

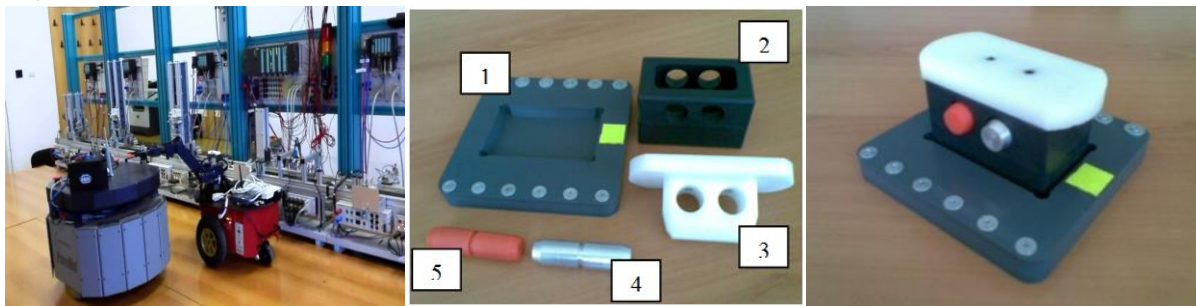


Fig 40. A/DML, HERA&HORSTMANN dervită WMRs: Pioneer 3-DX, chipat cu RM, Pioneer 5-DOF Arm and PatrolBot; componente; produsul final asamblat

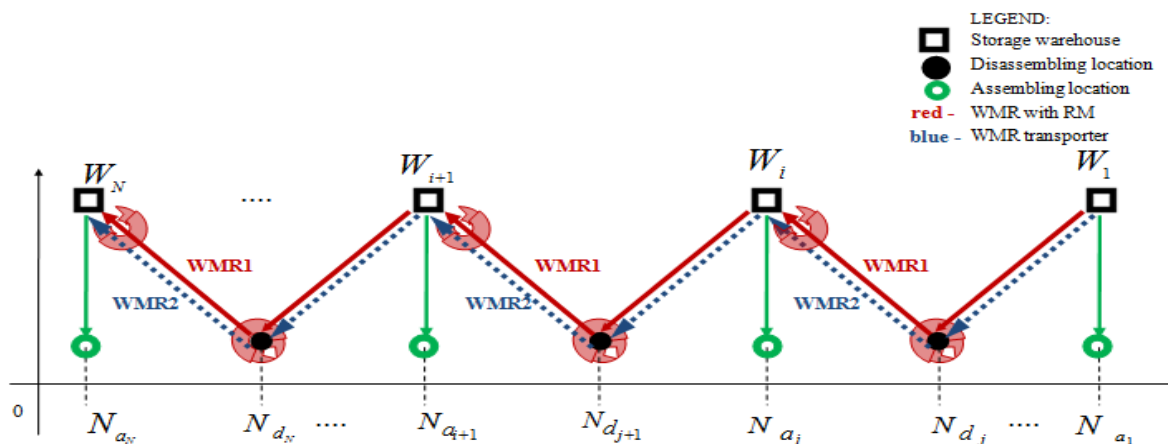


Fig.41. Reprezentarea A/DML cu N componente de A/D și magazii de depozitare

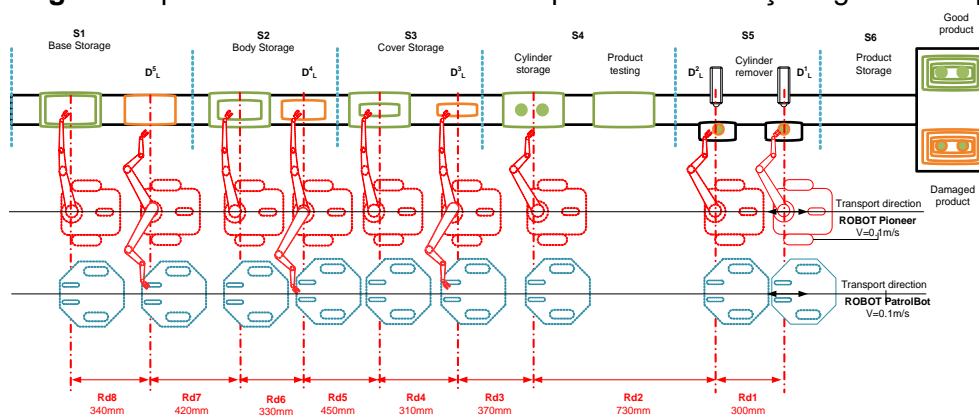


Fig.42. A/DML cu 5 componente, deservită de doi WMRs, lucrând în paralel, unul dintre ei echipat cu RM



Atribuire, planificare taskuri și A/DLB

În aceasta secțiune se atribuie și se propune o planificare de taskuri pentru A/DML deservită de doi WMRs, unul echipat cu RM este destinat manipulării componentelor, iar celalalt este destinat transportului. Ipotezele de mai sus, de la 1.1 până la 1.14, stau la baza modelului ce corespunde procesului de dezasamblare care se constituie într-un criteriu de optimizare (echilibrare), a cărui extremizare (maximizare) reprezintă o soluție a problemei A/DBL (Assembly/Disassembly Line Balancing). Și aici, datorită ipotezelor 1.1, 1.2 și 1.10, procesul de asamblare poate fi considerat implicit optimizat (echilibrat), deci problema ALB este implicit rezolvată.

Fie M numărul total de taskuri necesare dezasamblării unui produs și M_c numărul de taskuri pe ciclu elementar (perioadă). Taskurile asociate unui ciclu elementar, $TC_i, i = \overline{1, M_c}$, sunt definite mai jos:

TC_1 – Transportul produsului (pe banda transportoare) supus procesului de dezasamblare, de-a lungul A/DML în sensul negativ al axei Ox;

TC_2 – Stop A/DML și dezasamblare componentă;

TC_3 – Poziționare RM (pentru prindere componentă) al WMR1 (poziționat în dreptul locației unde se produce dezasamblarea);

TC_4 – Prindere componentă;

TC_5 – Start A/DML;

TC_6 – Manipulare RM pentru depunere componentă pe WMR2 (utilizat ca transportor);

TC_7 – Poziționare RM al WMR1 pentru deplasare la următoarea locație;

TC_8 – WMR1 cu RM deplasare de la locația de dezasamblare la locația magaziei de depozitare;

TC_9 – Deplasare WMR2 de la locația de dezasamblare la locația magaziei de depozitare;

TC_{10} – Poziționare RM al WMR1 și prindere componentă de pe WMR2;

TC_{11} – Poziționare RM al WMR1 pentru depozitare componentă la magazia corespunzătoare;

TC_{12} – Depozitare componentă;

TC_{13} – Poziționare RM al WMR1 pentru deplasare la locația următoare;

TC_{14} – Deplasare WMR1 de la locație magazie de depozitare la următoarea locație de dezasamblare;

TC_{15} – Deplasare WMR2 de la locație magazie de depozitare la următoarea locație de dezasamblare;

Planificarea taskurilor este prezentată în Tab.1.

Observația 3.2. Deoarece WMR1 și WMR2, se deplasează sincron, patru taskuri se execută în paralel.

Tab. 1. Planificare taskuri

	TC2	TC5	TC1						
TC3	TC4	TC6	TC7	TC8	TC10	TC11	TC12	TC13	TC14
				TC9					TC15



Cu planificarea taskurilor, definită mai sus, criteriul de optimizare (3.6), în condițiile de restricții (3.2), (3.3), (3.4) și (3.5) rămâne valabil și în acest caz când A/DML este deservită de doi WMRs, lucrând în paralel, cu deplasare sincronă.

Criteriu de maximizat pentru DLB

Fie CT timpul de ciclu maxim permis pentru toate ciclurile elementare. Fie $t_{ij}, i = \overline{1, M}, j = \overline{1, M_c}$ timpul de execuție a taskului i aparținând ciclului j , astfel, t_{ij} este timpul de execuție al taskului TC_{ij} . Fie $d_{ij}, i = \overline{1, M}, j = \overline{1, M_c}$ cererea pentru componenta rezultată din dezasamblare prin execuția taskului T_{ij} . Fie NR_{ij} valoare netă obținută ca urmare a execuției taskului TC_{ij} , i.e. diferența dintre valoarea prin reutilizarea sau vinderea componentei rezultată din dezasamblare și costul de execuție al taskului:

$$NR_{ij} = R_{ij} - C_{ij}$$

unde R_{ij} este valoarea obținută prin execuția taskului, TC_{ij} , iar C_{ij} este costul execuției taskului, TC_{ij} . Dacă în urma execuției taskului, TC_{ij} , nu se dezasamblează o componentă, atunci $R_{ij} = 0$.

Fie $DV_{ijk}, i = \overline{1, M}, j = \overline{1, N}, k = \overline{1, N}$ variabilele de decizie prin care se asignează taskuri la stațiile de lucru în fiecare ciclu elementar. Aceste atribuiri se explică astfel: dacă taskul i este asignat stației j în ciclul k , atunci $DV_{ijk} = 1$, altminteri, $DV_{ijk} = 0$.

Se consideră următoarele restricții:

R.1. Cererea pentru o componentă trebuie să satisfacă inegalitatea

$$\sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N DV_{ijk} \geq d, i = \overline{1, M}, d = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{M_c} d_{ij}$$

R. 2. Timpul de ciclu trebuie să satisfacă inegalitatea

$$\sum_{i=1}^M t_{ij} DV_{ijk} \leq CT, \forall j, \forall k$$

R.3. Un task nu poate fi asignat decât la o singură stație în fiecare perioada

$$\sum_{j=1}^N DV_{ijk} \leq 1, i = \overline{1, M}, k = \overline{1, N}$$

R. 4. Variabilele de decizie trebuie să fie pozitive deoarece au valori binare, semnificând asignarea fiecărui task la o stație de lucru în fiecare perioadă

$$DV_{ijk} \geq 0, i = \overline{1, M}, j = \overline{1, N}, k = \overline{1, N}$$

Funcția obiectiv a carei maximizare asigură o soluție pentru DLB, respectând restricțiile R.1, R.2, R. 3 și R.4, este o sumă a valorilor nete obținute în urma execuției fiecărui task.

$$J_{DBL} = \text{Max} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N NR_{ij} DV_{ijk}$$

Două sisteme robotice mobile integrate în A/DML. Structura modelului

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. Variația acestor variabile este în concordanță cu viteza de deplasare a celor două platforme, între locațiile A/DML. Pentru a dezvolta un model A/DML deservită de WMR1 echipat cu RM1 și WMR2, se va considera aspectul hibrid al proceselor de A/D. Pentru modelare și aici, se va apela la instrumentul THPN, instrument care integrează aspectul discret al proceselor de A/D cu aspectul continuu al mișcării WMR și manipulării componentelor de către RM1. Modelul global este de tip SHPN deoarece este interfațat cu evenimente externe pentru sincronizare, evenimente care nu sunt 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.43, și reprezentarea pe blocuri, din Fig.44, corespunde modelării discrete a proceselor de A/D și a dinamicii continue a celor doi roboți, WMR1 echipat cu RM1 și WMR2, 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 magazine, de tipologie TPN; dezasamblare produs asamblat care nu a trecut testul de calitate, de tipologie SPN și TPN; Integrarea WMR1 echipat cu RM1 și WMR2 în A/DML, în procesul de dezasamblare, de tipologie THPN. Secvența repetitivă care se evidențiază în decursul procesului de dezasamblare, conține operația de dezasamblare și asistența din partea WMR1 echipat cu RM1 și WMR2. Secvența repetitivă din cadrul procesului de dezasamblare poate fi modelată ca o secvență elementară SHPN, e-SHPN, și este marcată în Fig.44. Se poate observa pe figură că modelul e-SHPN, conține două submodele e-THPN, e-THPN1 asociat WMR1 echipat cu RM1 și e-THPN2 asociat lui WMR2. Liniei de A/D, în procesul de dezasamblare, i se asociază un submodel e-SPN+TPN. În Fig. 42, este redat modelul e-SHPN corespunzător primei operații de dezasamblare, model care va fi testat prin simulare. Testarea prin simulare a modelului SHPN, fără semnalele de sincronizare, adică, simularea în mod autonom a modelului HPN este utilă în a conecta dinamica discretă a A/DML cu dinamica continuă a WMR1 echipat cu RM1 și dinamica WMR2.

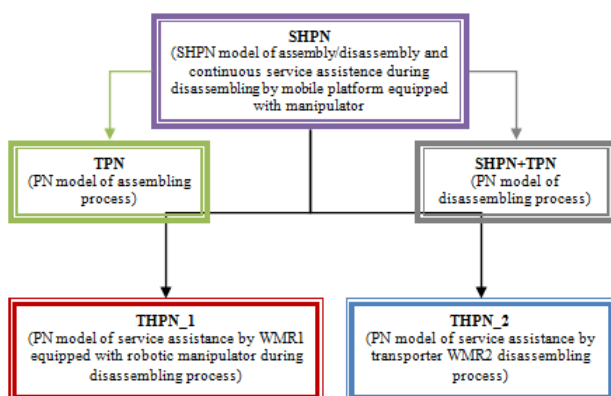


Fig.43. Structura modelului SHPN pentru doi WMRs integrați în A/DML

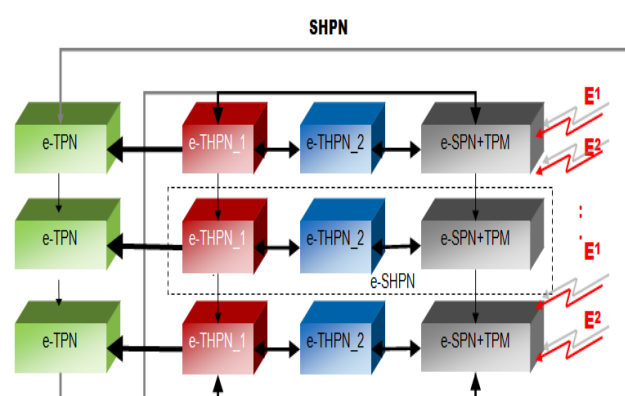


Fig.44. Modelul SHPN cu doi WMRs operând în paralel, sincron, integrați în A/DML, cu blocurile repetitive elementare, e-SHPN



Simularea modelului SHPN

În Fig.46 este prezentat modelul SHPN corespunzător primului stagiu de dezasamblare, pentru doi WMRs, lucrând în paralel, integrați în A/DML: WMR1, Pioneer 3-DX, echipat cu RM1, Pioneer 5-DOF Arm, utilizat pentru manipulare componentă și WMR2, PatrolBot, utilizat pentru transport. Sunt necesare 4 semnale de sincronizare pentru acțiunile de apucare componentă de la locația de dezasamblare și eliberare la magazia de depozitare aferentă: Edd1-STOP A/DML și START dezamblare; Edd2-RM1 apucare componentă și START A/DML; Edd3-RM1 de pe WMR1 în poziție pentru deplasare după ce a preluat componenta de la prima locație de dezasamblare și a eliberat-o pe platforma WMR2; Edd4-RM1 de pe WMR1 în poziție pentru deplasare după ce a preluat componenta de pe platforma robotică transportoare WMR2 pentru a fi eliberată la magazia W1.

De asemenea, s-au utilizat alte trei variabile: $P16$ -RM1 de pe WMR1 în poziție de deplasare după ce a fost eliberată pe platforma WMR2 componenta rezultată din dezasamblare; $P19$ -RM1 în poziție de deplasare după ce a fost eliberată componenta în magazia W1; $P23$ -RM1 apucare componentă eliberată din dezasamblare.

Intervalele de timp ale acțiunilor WMRs și stările piesei care se dezassemblează în timpul unui ciclu elementar sunt prezentate în Fig.45. Evoluția stărilor continue și discrete, în urma simulației în Sirphyco, sunt prezentate în Fig.46. Modelul SHPN este util pentru a determina valoarea maximă a platformelor mobile astfel încât să se obțină un timp de ciclu minim al procesului de dezasamblare. Această viteză trebuie să fie setată de acord cu limitările fizice ale celor două platforme. Marcajele stărilor continue ale WMRs, înainte și după simulare, se verifică cu distanțele prezentate în Fig.42. Evoluția marcajelor stărilor discrete și continue ale WMRs, corespunzătoare $j=1$ este următoarea $Pcr(8)$ și $Pcr(13)$ sunt variația temporală a distanței ca va trebui parcursă de WMRs de la prima locație de dezasamblare la ultima magazie de depozitare, $Pcr(26)$ – variația temporală a distanței ce trebuie parcursă de WMRs în urmașul stagiu de dezasamblare (730mm cum este prezentat în Fig.42) în corelație cu evenimentele de sincronizare Edd_1^1 and Edd_3^2 . Stările discrete: $Pdr(11)$, $Pdr(17)$, $Pdr(12)$, și $Pdr(18)$, –reprezintă temporizările asociate la acțiunile discrete ale WMRs (prindere sau eliberare componentă, închidere gripper, re poziționare RM1 la următoarea stație de lucru) corelate cu distanța parcursă pe benzile transportoare de către piesa care se dezassemblează în interiorul unei stații de lucru sau între stațiile de lucru.

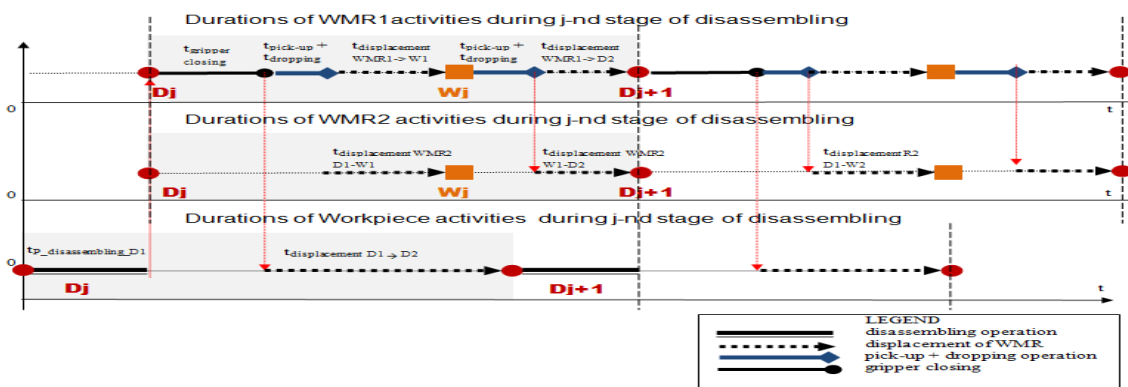
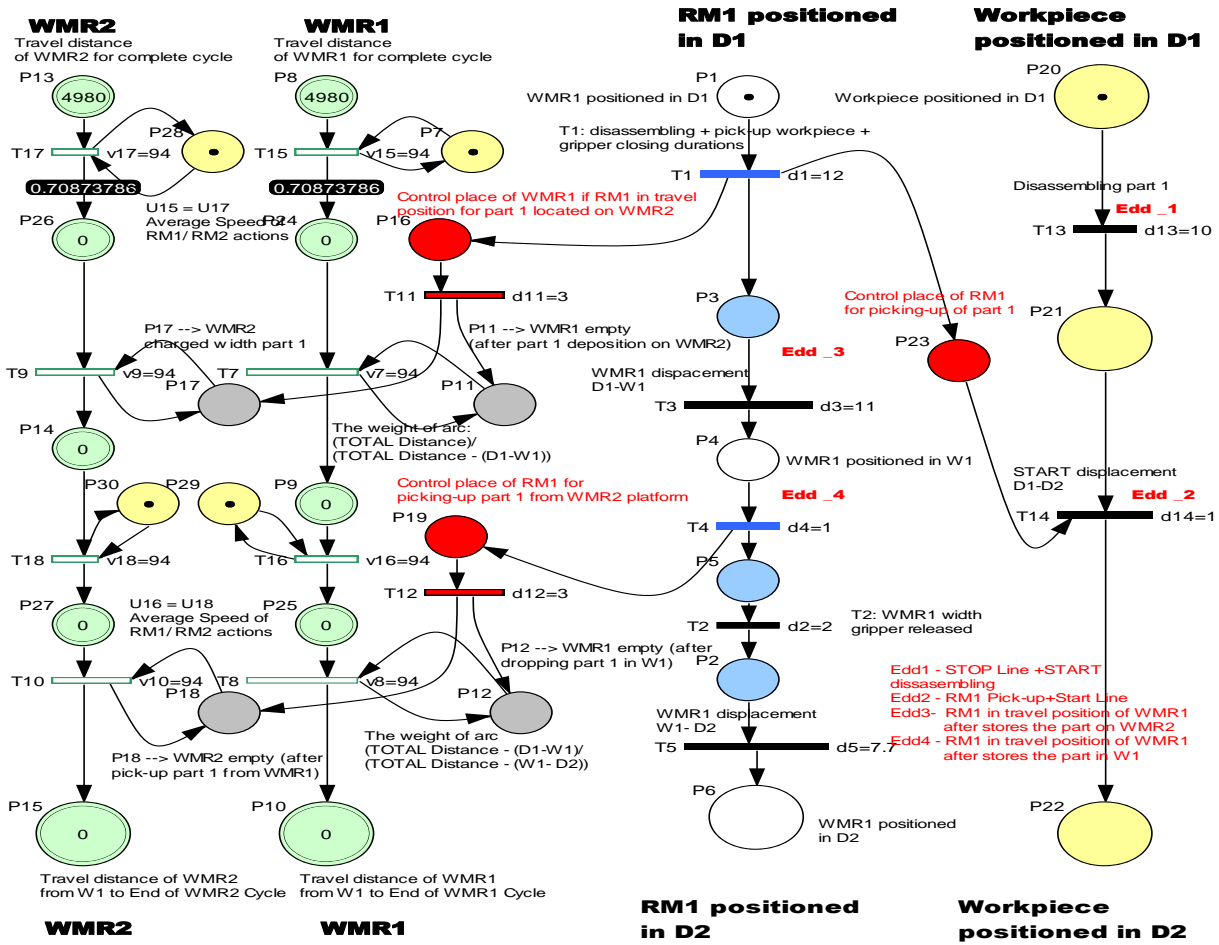


Fig.45. Intervalele de timp corespunzătoare ciclului elementar de dezasamblare "j" pentru doi WMRs integrați în A/DML

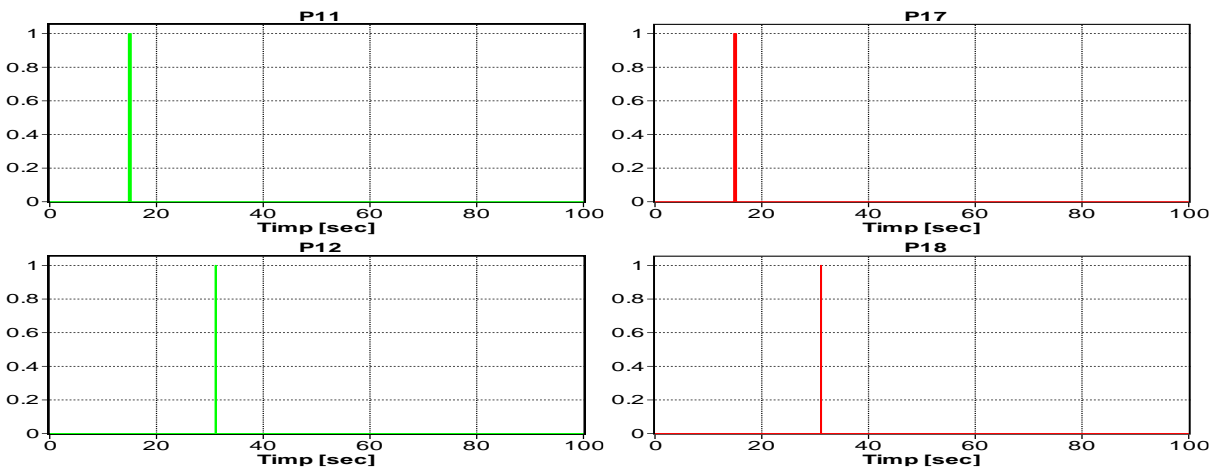


1-st stage of disassembling



2-nd stage of disassembling

Fig.46. Modelul SHPN corespunzător primului ciclu elementar de dez asamblare, pentru doi WMRs integrați în A/DML



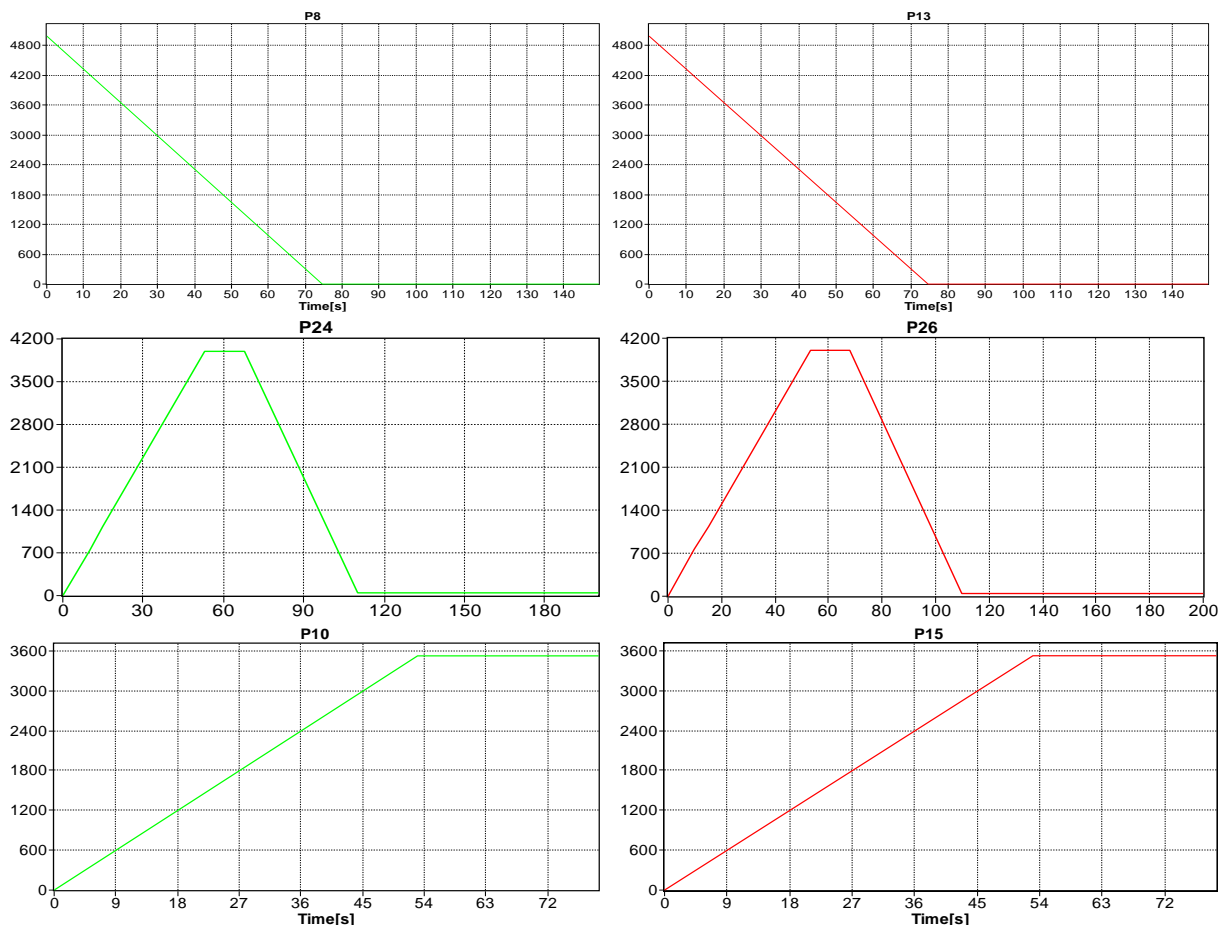


Fig.47. Variația stărilor discrete și continue corespunzătoare primului ciclu elementar de dezasamblare pentru doi WMRs integrați în A/DML

OB 5.3. Conducerea în timp real și echilibrarea liniei de prelucrare/reprelucrare FESTO-MPS. Conducerea sliding-mode a două sisteme robotice autonome care deservește linia pentru procesul de reprelucrare: Pioneer 3-DX (2DW/1FW) echipat cu manipulatorul Pioneer 5-DOF Arm, utilizat pentru transport și PatrolBot (2DW/2FW) echipat cu manipulatorul 5-DOF Cyton Premium, utilizat pentru transport. Implementarea în timp real a sistemului servoing vizual pentru manipuloarele Pioneer și/sau Cyton.

S-a proiectat supervisorul în Labview pentru linia de mecatronica de prelucrare/reprelucrare FESTO MPS-200 deservită de două platforme, Pioneer 3-DX și PatrolBot sau PeopleBot. Platforma mobilă Pioneer 3-DX este echipată cu manipulatorul Pioneer 5-DOF Arm, este utilizată la preluarea de pe stația de depozitare a pieselor care necesită reprelucrare sau rebutare și depozitarea pe platforma robotului mobil PatrolBot sau PeopleBot pentru a fi transportate la începutul liniei, la stația de manipulare (handling)(Fig.18). Platforma PeopleBot are montat manipulatorul Cyton.6-DOF Cyton 2 Premium P-Series Robot Arm. Sincronizarea dintre linia de mecatronica și robotul mobil Pioneer 3-DX se face cu ajutorul unui sistem servoing vizual cu camera fixă. Poziționarea platformei mobile și a manipulatorului pentru a prelua piesa este făcută pe baza prelucrării de imagine, imagine furnizată de o cameră postată la sfârșitul liniei de mecatronica, pe stația de depozitare și sortare. Transportul la începutul liniei al piesei care este supusă la reprelucrare se face cu robotul mobil PeopleBot cu ajutorul unui algoritm de conducere sliding-mode. Depozitarea piesei pe stația de manipulare este făcută cu manipulatorul robotic Cyton.6-DOF Cyton 2 Premium P-Series Robot Arm (Fig. 47). Platforma mobilă Pioneer 3-DX este echipată cu manipulatorul Pioneer 5-DOF Arm,

fiind utilizata la preluarea de pe statia de depozitare a pieselor care necesita re prelucrare sau rebutare si depozitarea pe platforma superioara a robotului mobil PeopleBot pentru a fi transportata la inceputul liniei, la statia de manipulare (handling). Manipulatorul robotic 6-DOF Cyton 2 Premium P-Series Robot Arm este montat in pozitie fixa la inceputul liniei de mecatronica si este utilizat pentru preluarea pieselor de pe paltforma superioara a platformei mobile PeopleBot si a le pozitiona pe statia de manipulare pentru a fi reintroduse in procesul de prelucrare sau a fi rebutate (Fig.48).

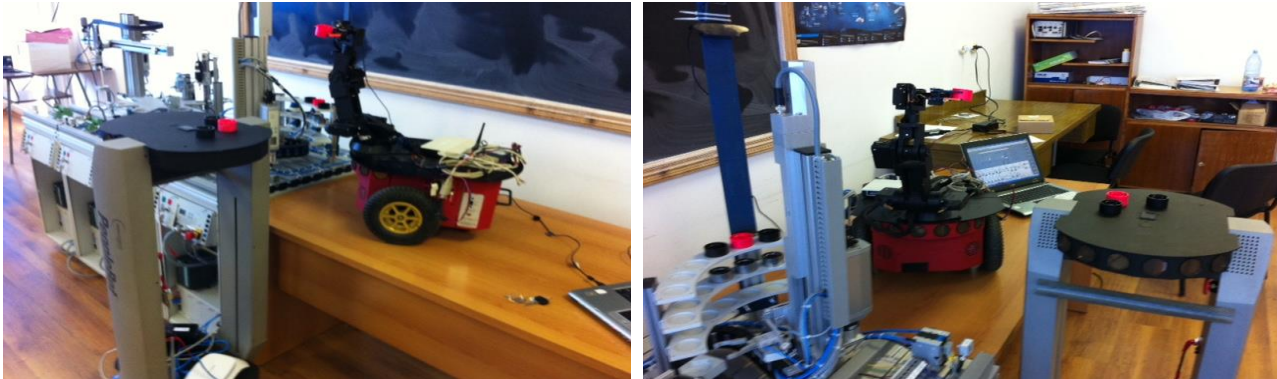


Fig. 48. Linia de mecatronica Festo MPS-200 deservita de doua platforme mobile

Conducerea platformelor mobile cu algoritm de evitare obstacole a fost diseminata prin lucrarea: **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 Gradistei, Romania, 2015, pp.105-110, ISBN: 978-1-4799-8481-7©2015 IEEE. In 2015 rezultatele au fost disseminate prin urmatoarele articole publicate, indexate IEEE Xplore si in curs de indexare ISI WoS:

Razvan Solea, Adrian Filipescu, Adriana Filipescu Jr. Eugenia Minca, Silviu Filipescu, 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.

Minca E., Filipescu, A., Dragomir O., Coanda, H., G., Dragomir F., Cycle Time Optimization of a Reversible A/DML Served by a Mobile Robotic System, Proceedings of the 19th IEEE, International Conference on System Theory, Control and Computing, ICSTCC 2015 14-16, Oct. Cheile Gradistei, Romania, 2015, pp.99-104, ISBN: 978-1-4799-8481-7©2015 IEEE.

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 Gradistei, Romania, 2015, pp.105-110, ISBN: 978-1-4799-8481-7©2015 IEEE.

ETAPA 6, Anul 2016

OB 6.1. Conducerea sliding-mode si navigatia, bazata pe ultrasunete si laser a sistemelor robotice colaborative, Pioneer 3-DX echipat cu manipulatorul Pioneer 5-DOF Arm si PatrolBot echipat cu manipulatorul Cyton deservind linia de mecatronica reversibila, de asamblare/dezasamblare Hera&Horstmann. Conducerea manipolatoarelor bazata pe sistem servoing vizual



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 deservesc A/DML în procesul de dezasamblare. Cele două sisteme robotice, oprează 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++, 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. Supervizorul comunică cu cele două sisteme robotice prin protocol TCP/IP, iar cu A/DML prin intermediul unei plăci de achiziție, NI-USB-8008 conectată 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, supervizorul comandă oprirea/pornirea benzilor transportoare ale stațiilor de lucru și sincronizarea acțiunilor A/DML cu acțiunile WMR1, RM1 și WMR2. În Fig.49 este prezentată structura hardware și software, pentru conducerea în timp real.

OB. 6.2. Conducerea sliding-mode și navigația, bazată pe ultrasunete și laser a sistemelor robotice colaborative, Pioneer 3-DX echipat cu manipulatorul Pioneer 5-DOF Arm și PatrolBot echipat cu manipulatorul Cyton deservind linia de mecatronica de prelucrare/reprelucrare FESTO-MPS-200. Conducerea manipuletoarelor bazată pe sistem servoing vizual

Conducerea FMML, P/RML FESTO MPS-200 deservită de un WMR echipat cu RM, bazată pe sistem servoing vizual. Testarea conducerii în MobileSim

S-a testat conducerea P/RML deservită de WMR echipat cu RM, mai întâi, prin simulare în MobileSim. Algoritmii de conducere a platformei mobile a fost sliding-mode cu timp continuu, iar structura de conducere, hardware și software a fost cea din Fig.51. 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 conducere sliding mode. Traiectoria simulată, Fig.50, corespunde procesului real de deservire a P/RML FESTO MPS-200 în cadrul proceselor de P/R deservită 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. În cadrul simulării s-au impus următoarele condiții:

- Distanța totală parcursă de WMR echipat cu RM este de 5634 mm. Această traiectorie este parcursă în două etape de preluare/eliberare și întoarcere la poziția inițială. Fiecare etapă poate fi împărțită în 3 secțiuni (fiecare etapă are o distanță de 2817 mm): în prima secțiune se parcurge distanța de 700 mm în linie dreaptă (din poziția de *START*) după care platforma mobilă execută o întoarcere de 90° apoi parcurge în linie dreaptă distanța de 2097 mm care corespunde celei de-a doua secțiuni, execută cea de-a doua întoarcere de 90° și parcurge cea



de-a treia secțiune (până la poziția de *STOP*) cu o distanță de 200 mm; După parcurgerea celor 3 secțiuni în care se transportă o piesă, WMR echipat cu RM revine în poziția inițială parcurgând aceeași traiectorie;

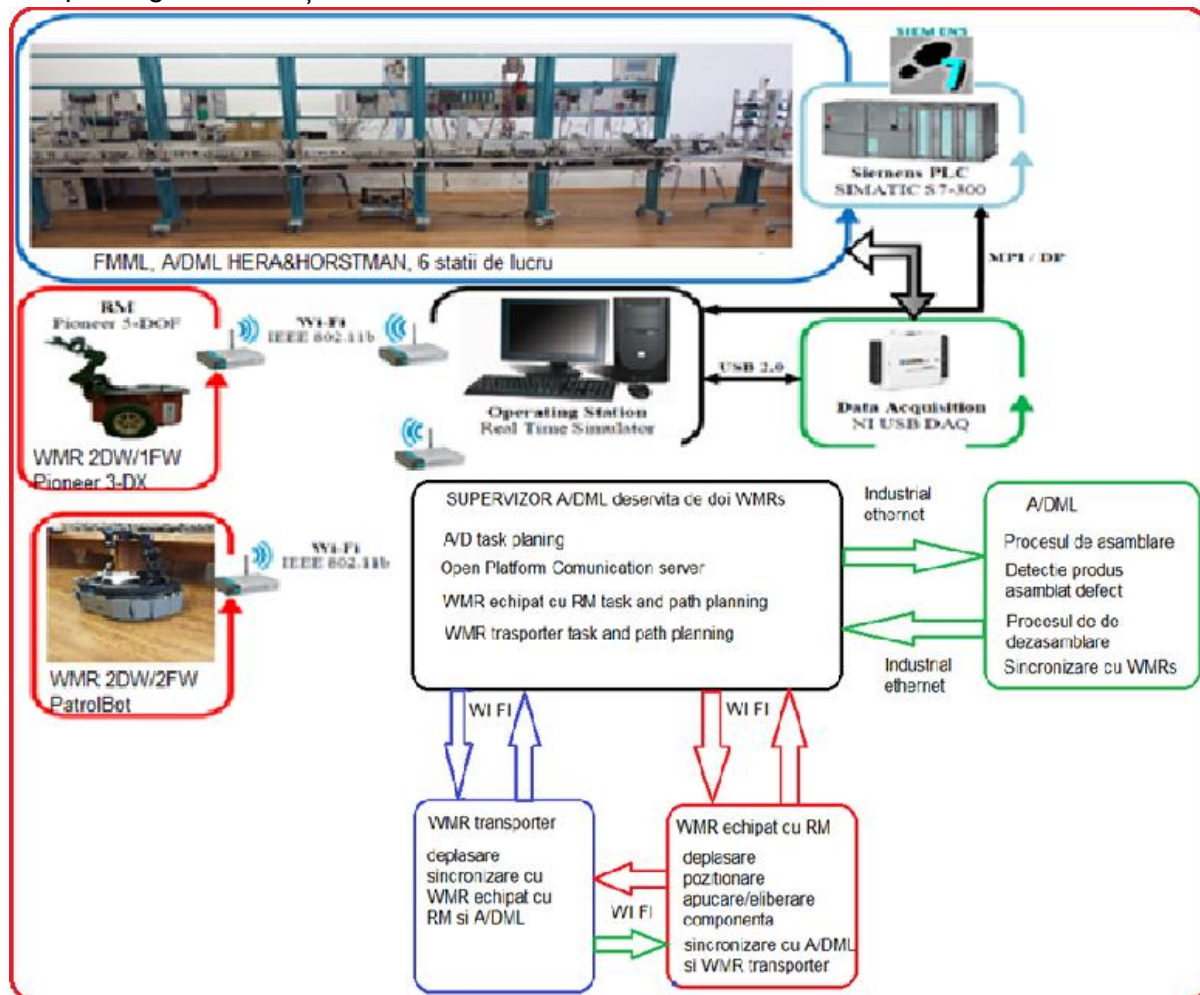


Fig.49. Structura hardware și software pentru conducerea A/DML deservită de doi WMRs

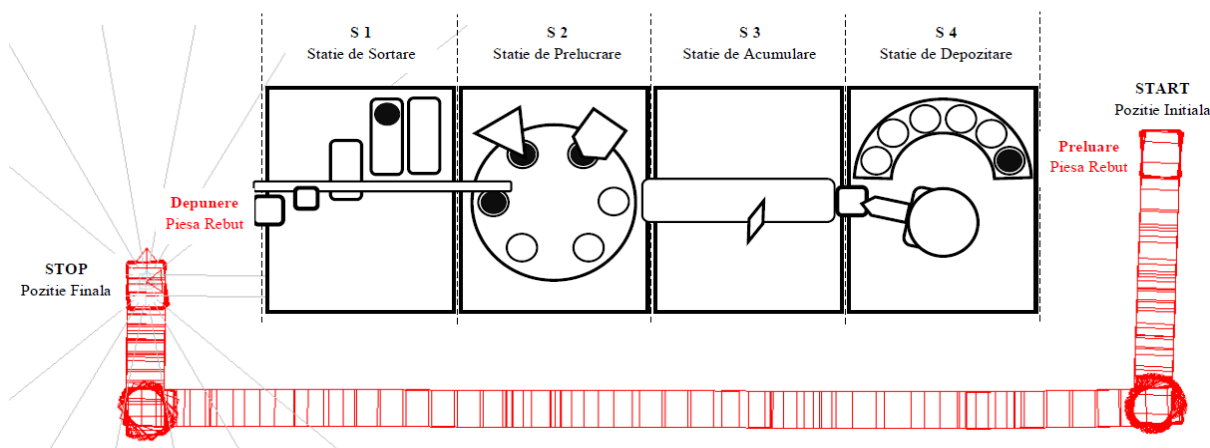


Fig.50. Simularea traiectoriei în MobileSim la conducerea SM-TT a WMR echipat cu RM



- Viteza platformei mobile a fost de 94 mm/s;
- În cadrul simulării nu s-au luat în considerare timpi de staționare WMR pentru efectuarea operațiilor de preluare/eliberare piesă de către RM;
- În cadrul simulării, WMR echipat cu RM preia o singură piesă care nu satisface cerințele de calitate și o readuce pe linia de prelucrare după care WMR se întoarce la poziția inițială.

Conducerea în timp real cu sistem servoing vizual

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.

Comunicația dintre aceste două bucle locale de conducere se realizează printr-o interfațare dintre linia flexibilă și un calculator de proces, realizată prin intermediul a două camere web de înalta rezoluție/apertură și o comunicație wireless pe un protocol TCP/IP dintre robotul mobil și calculatorul de proces. Camerele web sunt fixe, localizate, prima deasupra stației de depozitare/sortare, cu vedere asupra depozitului de piese de reprocessat, iar cea de-a doua deasupra intrării în linia de procesare, ambele conectate la calculatorul de proces. Pe acest calculator de proces se găsește programul de detecție a piesei de reprocessat, program care are rolul de a sincroniza în timp real cele două bucle de conducere în cadrul procesului. 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 51. Aplicația de timp real este realizată pe o platformă MATLAB și este bazată pe modelul SHPN din Fig.18, care interfațează modelul HPN cu semnalele de sincronizare preluate de la video camere. După sincronizare, WMR echipat cu RM va prelua piesa de pe stația de depozitare și o va transporta pe stația de manipulare. Gripperul este poziționat pentru apucare sau eliberare piesă de către sistemul servoing vizual. Pe gripper-ul manipulatorului robotic există 2 markere care ajută în detecția video a poziției manipulatorului. Programul Matlab, prin intermediul prelucrării de imagine, detectează prezența piesei și îi determină coordonatele în imagine. În funcție de poziționarea RM, determinată prin calcularea coordonatelor în imagine a celor 2 markere de pe gripper, aplicația scrie un mesaj într-un fișier text. Conținutul fișierului text este în permanență citit de programul de conducere al robotului. Acesta, împreună cu programul în Matlab rulează în paralel pe calculatorul de proces. Robotul este așezat în poziția inițială de așteptare și inițializat cu brațul pregătit de preluarea piesei. Acesta părăsește poziția inițială doar în momentul detecției piesei de către camera video și se poziționează pentru extragerea piesei, în funcție de comenzile primite. Odată preluată piesa, programul de conducere a robotului rulează al algoritmul de conducere SM pentru aducerea piesei la începutul liniei de procesare. În Fig. 52, se prezintă momentul detecției și utilizării camerei web pentru poziționarea în vederea recuperării piesei de reprocessat. Viteza liniară a WMR pe durata unui ciclu de transport complet este prezentată în Fig.53.

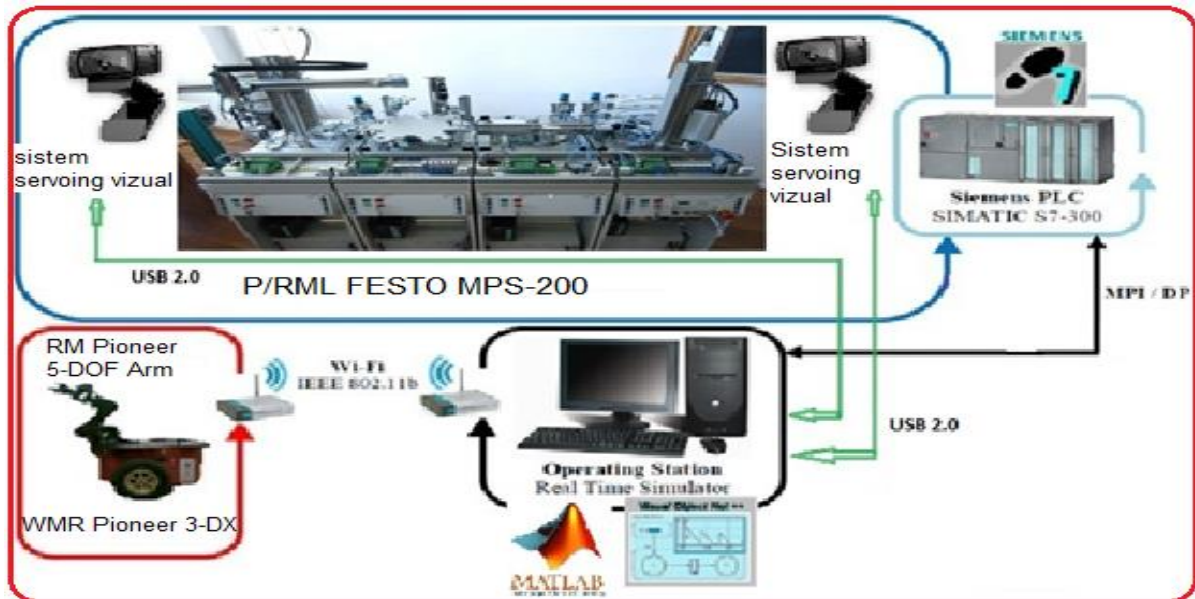


Fig.51. Schema bloc a comunicațiilor sistemului de procesare



Fig.52. Utilizarea camerei web pentru sincronizare și poziționare gripper

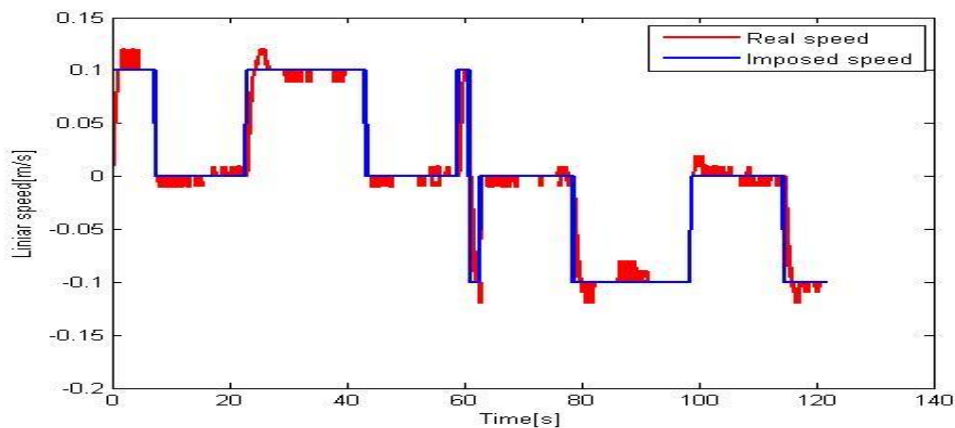


Fig.53. Viteza liniară, impusă și reală, la conducerea WMR integrat în P/RML

S-a proiectat supervizorul in Visual C++ și MATLAB pentru linia de mecatronica de prelucrare/reprelucare FESTO MPS-200 deservita doua paltforme, Pioneer 3-DX si PeopleBot. Platforma mobila Pioneer 3-DX este echipata cu manipulatorul Pioneer 5-DOF Arm, este utilizata la preluarea de pe statia de depozitare a pieselor care necesita reprelucrare sau rebutare si depozitarea pe platforma superioara a robotului mobil PeopleBot pentru a fi transportate la inceputul liniei, la statia de manipulare (handling). Sincronizarea dintre linia de mecatronica si robotul mobil Pioneer 3-DX se face cu ajutorul unui sistem servoing vizual cu camera fixa. Pozitionarea platformei mobile si a manipulatorului pentru a prelua piesa este facuta pe baza prelucrării de imagine, imagine furnizata de o camera postata la sfarsitul liniei de mecatronica, pe statia de depozitare si sortare. Transportul la inceputul liniei al piesei care este supusa la reprelucrare se face cu robotul mobil PeopleBot cu ajutorul unui algoritm de conducere sliding-mode. Depozitarea piesei pe statia de manipulare este facuta cu manipulatorul robotic Cyton 1500 (Fig. 54). Pe ultimul brat al manipulatorului Cyton este montata o video camera si este implementat un sistem sevoind vizual mobil

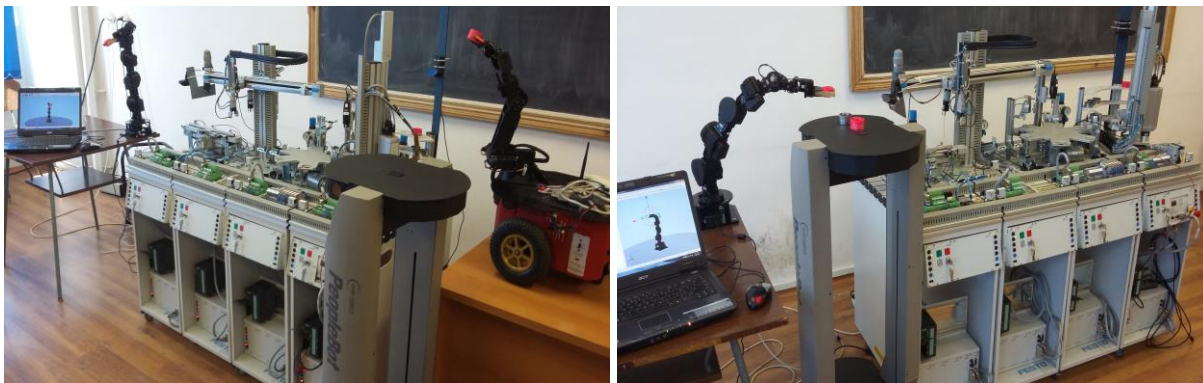


Fig.54. FMML, P/RML FESTO-MPS 200 deservită de WMRs, Pioneer 3-DX, PeopleBot, și RMs, Pioneer 5-DOF Arm și Cyton 1500

In 2016, diseminarea rezultatelor s-a facut prin urmatoarele publicatii:

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 of 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).

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.

G. Petrea, A. Filipescu Jr, A. Filipescu, R. Solea, Visual servoing and sliding mode controller for a mobile robotic system integrated in a P/RML, Elsevier journal of Robotics and Computer Integrated Manufacturing, ISSN: 0736-5845, under review, April 2016; **A. Filipescu, E. Minca, A. Filipescu Jr., A. Voda,** Hybrid Modelling, Simulation and Control of Mobile Robotic Systems Integrated into Mechatronics Manufacturing Lines, Elsevier journal of Nonlinear Analysis: Hybrid Systems, ISSN: 1751-570X, under review, June 2016;

In 2016, s-a achizitionat manipulatorul robotic Cyton 1500



În urma derulării proiectului, rezultatele obținute și contribuțiile aduse la conducerea liniilor de fabricație flexibilă deservite de roboți mobili echipați cu manipuloare, diseminate și certificate prin lucrările publicate, implementări în timp real, teze de doctorat, 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. Pentru determinarea modelului cinematic al WMR am considerat variabilele generalizate ale sistemului, rotirea roților robotului fără alunecare și aplicat constrângerile nonholomice specifice acestui caz. Modelul rezultat astfel are cinci variabile: două variabile reprezintă centrul geometric al WMR, o variabilă reprezentând unghiul de direcție al robotului și alte două variabile reprezentând unghiurile fiecărei roți. Aceste variabile depind de vitezele de rotație ale roților. S-a simplificat acest model pentru că s-a dorit doar calculul coordonatelor carteziane ale centrului geometric și unghiul de direcție, înlocuind vitezele celor două roți cu viteza liniară și viteze unghiulară a robotului;
- 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. S-au calculat comenzile pentru viteza liniară și viteza unghiulară a WMR;
- Sistemul de comunicație la distanță și de comandă a WMR cu 2DW/2FW și 2DW/1FW în protocolul client server. Considerând modelul cinematic al WMR, 2DW/2FW, PatrolBot, erorile de urmărire, dinamica erorilor de urmărire, suprafețele de comutație și legea de conducere, toate în timp discret, s-au calculat comenzile pentru viteza liniară și viteza unghiulară a WMR 2DW/2FW, PatrolBot.
- Analiza liniilor de mecatronică de fabricație flexibilă cu referire la două tipuri de procese industriale, de fabricație flexibilă, asamblare și prelucrare și corespondențele acestor două sisteme industriale, linii de mecatronică, A/DML și P/RML;
- Obținerea unor structuri optimizate de fabricație flexibilă care permit cu aceleași stații efectuarea de operații de A/D și P/R;
- Ipotezele de lucru și de funcționare aferente A/DML cu N stații de lucru deservită de unul sau două sisteme robotice mobile echipate cu manipuloare;
- Ipotezele de lucru și de funcționare aferente P/RML deservită de un sistem robotic mobil echipat cu manipulator;
- 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 manipuloare;
- Echilibrarea A/DML cu N stații de lucru, deservită de unul sau două sisteme robotice mobile echipate cu manipuloare, prin rezolvarea unei probleme de optimizare cu restricții;
- Asignarea și planificarea taskurilor pentru operațiile derulate pe A/DML HERA&HORSTMANN cu deservită de unul sau două sisteme robotice mobile echipate cu manipuloare;
- Asignarea și planificarea taskurilor pentru operațiile derulate pe P/RML FESTO MPS-200 cu deservită de un sistem robotic mobil echipat cu manipulator;
- Structura, modelul SHPN și formalismul general, cu evidențierea submodelelor repetitive, pentru A/DML deservită de un WMR echipat cu RM;



- 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;
- 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;
- 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;
- 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;
- 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;
- 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;
- Implementare în LabView, testarea și validarea în laborator a tehnologiei hibide de fabricație flexibilă pe A/DML, HERA&HORSTMANN, deservită de un WMR echipat cu RM, ;
- Implementare în Vizual C++, testarea și validarea în laborator a tehnologiei hibide de fabricație flexibilă pe A/DML, HERA&HORSTMANN, deservita 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;
- Implementare în Matlab și Vizual C++, testarea și validarea în laborator a tehnologiei hibide de fabricație flexibilă pe P/RML, FESTO-MPS 200, deservită de un WMR echipat cu RM.
- Conducerea sliding-mode și navigația, bazată pe ultrasunete și laser a sistemelor robotice colaborative, Pioneer 3-DX echipat cu manipulatorul Pioneer 5-DOF Arm și PatrolBot echipat cu manipulatorul Cyton 1500 deservind linia de mecatronica reversibilă, de asamblare/dezasamblare Hera&Horstmann;
- Conducerea sliding-mode și navigația, bazată pe ultrasunete și laser a sistemelor robotice colaborative, Pioneer 3-DX echipat cu manipulatorul Pioneer 5-DOF Arm și PeopleBot echipat cu manipulatorul Cyton 1500 deservind linia de mecatronica de prelucrare/reprelucrare FESTO-MPS-200;
- Conducerea manipuloarelor bazată pe sistem servoing vizual.

4-noiembrie-2016

Director proiect,

Conf. Dr. Ing. Alina Vodă