

Raport final

Etapa 1 –

Modelarea cinematica a trei prototipuri de sisteme robotice autonome:

Prototipul 1 (Autonomous Wheelchair 2DW/2FW): Scaunul cu roțile pentru persoane vârstnice și cu dizabilități, conceput ca robot mobil cu două roți motoare și două roți libere (2DW/2FW);

Prototipul 2 (Autonomous Robot 2DW/1FW, 2DW/2FW): Robot mobil cu două roți motoare și una sau două roți libere, (2DW/1FW, 2DW/2FW), echipat cu manipulator robotic cu 6 grade de libertate (6-DOF) integrat în linii flexibile de fabricație din industria de automobile;

Prototipul 3 (Autonomous Omnidirectional Vehicle 4DW/SW): Vehicul autonom tip robot mobil cu patru roți motoare și directoare omnidirecționale (4DW/SW) echipat cu manipulator robotic cu 6 grade de libertate (6-DOF), care deservește procese din industria metalurgică și sticla.

Modelarea cinematica a sistemului autonom corespunzător Prototipului 1, modelare ca robot mobil cu două roți motoare și două libere (2DW/2FW)-obiectiv realizat 100%. S-a realizat echiparea și modelarea cinematică a scaunului cu roțile Cirrus Power Wheelchair.

Pentru realizarea sistemului s-au folosit următoarele resurse hardware:

- un scaun electric mobil (Cirrus Power Wheelchair) echipat cu encodere industriale, ce au o rezoluție de 10.000 de impulsuri, pentru cunoașterea poziției și a vitezei în orice moment de timp;

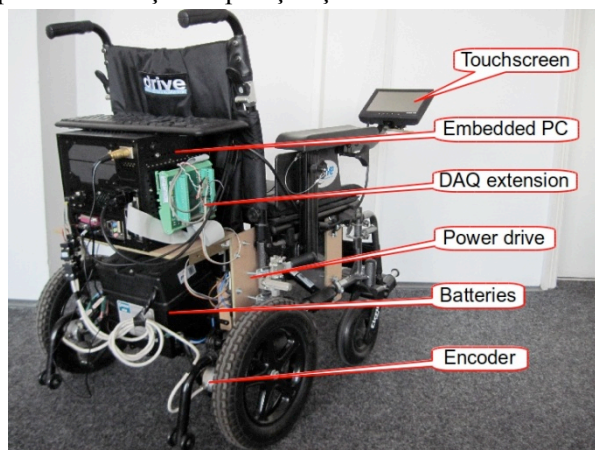


Fig. 1. Scaun electric mobil (Cirrus Power Wheelchair) și componentele sale

Sunt utilizate encodere de tip industrial incremental (RI-58) pentru detectarea poziției și a vitezei în orice moment. Caracteristici:

- Rezoluție de 10.000 de impulsuri;
 - Acuratețe mare pentru semnale înalte;
 - Clasa de protecție IP (International Protection Rating) 67;
 - Temperatura de funcționare între -10... +70 grade C și rezistență crecută la șocuri.
- un embedded PC, model Desktop Board ASRock H81M-GL, cu dimensiunile necesare (L: 17.145 x W: 17.145 cm) astfel încât să fie instalat pe scaunul mobil fără a incomoda utilizatorul sau fără a influența comportamentul normal al unui astfel de sistem. De asemenea, computerul este prevăzut cu slot PCI pentru atașarea unei plăci de achiziție model DAQ 6024E.

PC-ul are instalată placă de achiziție și de asemenea programul MATLAB pentru procesarea imaginilor necesare la identificarea direcției. Caracteristicile principale ale PC-ului Desktop Board ASRock H81M-GL sunt următoarele:

- Procesor: CPU Intel 4th generation;
- Memorie: 16 GB RAM;
- Placă grafică dedicată: Sapphire Radeon R5 230 (AMD), 2GB DDR3.

Placa de achiziție DAQ 6024E, este din familia NI 6024E de la National Instruments, este un dispozitiv multifuncțional AI (Analog Input), AO (Analog Output), DIO (Digital Input/Output), pentru calculatoarele dotate cu PCI, PXI sau PCMCIA. Placa are următoarele caracteristici:

- 16 canale AI – cu o rezoluție de 12 biți ;
 - 2 canale AO – cu o rezoluție de 12 biți ;
 - 8 linii TTL – compatibile DIO ;
 - 2 timere/countere DIO pe 24 biți ;
 - Conector I/O cu 68 de pini.
- o camera video low-cost cu senzori CMOS cu sistem de prindere de tip ochelari
 Specificațiile tehnice ale camerei web sunt: tip senzor: CMOS; rezoluție senzor (pixeli): 1.3 MP; rezoluție video (pixeli): 640x480; interfață: USB.

Modelarea cinematică a sistemului robotic autonom Prototipul 2 (Autonomous Robot 2DW/1FW, 2DW/2FW): Robot mobil cu doua roti motoare și una sau doua roti libere, (2DW/1FW, 2DW/2FW), echipat cu manipulator robotic cu 6 grade de libertate (6-DOF) integrat în linii flexibile de fabricație din industria de automobile;

Obiective prevăzute:

- Modelul cinematic pentru Prototipul 2, modelat ca sistem robotic 2DW/2FW și 2DW/1FW

Obiective realizate:

1. Model cinematic corespunzător sistemelor robotice autonome 2DW/1FW și 2DW/2FW
2. Structura de conducere în buclă deschisă a sistemelor robotice autonome 2DW/1FW și 2DW/2FW pe baza modelului cinematic, pe traiectorii liniare prestabilite.
3. Studiu de caz 1.

Structura de conducere în buclă deschisă a sistemelor robotice autonome 2DW/1FW și 2DW/2FW pe baza modelului cinematic, pe traiectorii predefinite. Rezultate ale simulării în MobileSim;

Structura de conducere în timp real a sistemelor robotice autonome 2DW/1FW Pioneer, pe traiectorii corespunzătoare unor scenarii de deservire a posturilor de lucru, care aparțin unei hărți cu amplasare predefinită.

3. Studiu de caz 2.

Structura de conducere în buclă închisă a sistemelor robotice autonome 2DW/1FW și 2DW/2FW cu menținerea constantă a distanței față de un traseu de referință predefinit. Algoritm impus are la bază conducerea în buclă închisă cu regulator tripozițional. Rezultate ale simulării în MobileSim;

Structura de conducere în timp real, în buclă închisă, a sistemelor robotice autonome 2DW/1FW și 2DW/2FW cu menținerea constantă a distanței față de un traseu de referință predefinit. Structura de conducere are la bază algoritmul de conducere în buclă închisă cu regulator tripozițional. Regulatorul comandă viteza și unghiul de înaintare a WMR atunci când eroarea atinge valorile limită prestabilite. Rezultate ale evaluării erorilor de urmărire pe

direcțiile axelor OX și OY și a erorilor de urmărire în zonele de schimbare cu 180° a direcției.

Gradul de atingere a rezultatelor estimate: 100%

Modelarea cinematică a sistemului robotic autonom al Prototipului 3, modelare ca vehicul autonom omnidirecțional cu 4 roți motoare și directoare (4DW/SW)-obiectiv realizat. S-a realizat modelarea cinematică a vehiculului autonom multidirecțional SEEKUR (Fig. 2) și același realizat de Electro-total (Fig.3)-realizat 100%



Fig. 2. Vehiculul multidirecțional SEEKUR



Fig.3. Vehiculul multidirecțional Electro-total

Etapa 2

Prototipul 1 (Autonomous Wheelchair 2DW/2FW): Proiectarea conducerii și navigației bazate pe sistem video-biometric și sistem laser a scaunului cu roțile;

Prototipul 2 (Autonomous Robot 2DW/1FW, 2DW/2FW): Proiectarea conducerii și integrării în linii de fabricație flexibile, în regim de laborator, a sistemelor robotice autonome 2DW/1FW și 2DW/2FW echipate cu manipolatoare 6-DOF;

Prototipul 3 (Autonomous Omnidirectional Vehicle 4DW/SW); Proiectarea conducerii de la distanță și a navigației vehiculului autonom 4DW/SW echipat cu manipulator 6-DOF, pe diferite tipuri de carosabil.

Proiectarea structurii de conducere sliding-mode și backstepping, pentru urmărirea unei traiectorii impuse, bazată pe modelul cinematic al Prototipului 1. Proiectarea sistemului de navigație a Prototipului 1 bazată pe combinația dintre sistemul video-biometric al feței și ochiului cu sistemul laser-Obiectiv realizat 100%

Arhitectura conducerii sliding-mode cu timp continuu a WMR cu 2 DW/2FW este prezentată în Fig. 4. Această arhitectură de conducere permite robotului mobil (scaun cu roțile pentru persoane cu dizabilități) să urmărească o traiectorie dorită cu un profil de viteză impus. Trajectory-tracking consideră că robotul urmărește un WMR virtual care se deplasează pe traiectoria dorită cu profilul de viteză impus.

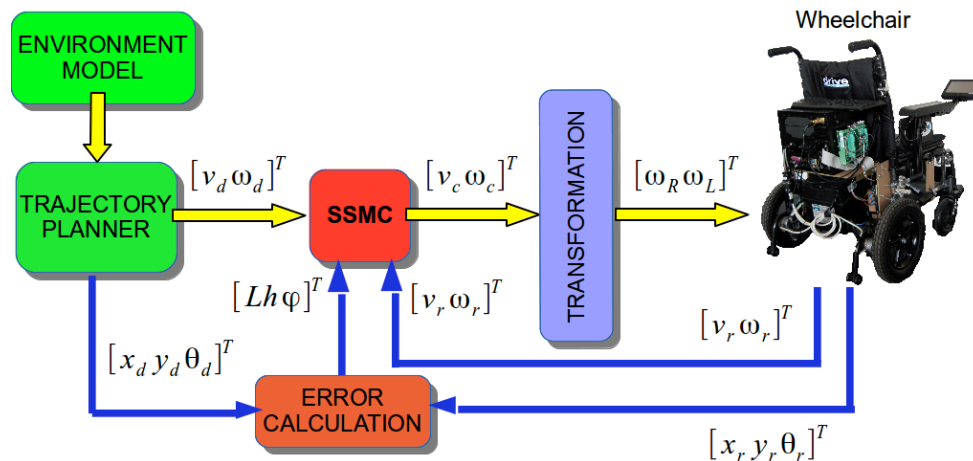


Fig.4. Arhitectura conducerii sliding-mode cu timp continuu a robotului mobil cu două roți motoare.

Prototipul 2 (Autonomous Robot 2DW/1FW, 2DW/2FW): Proiectarea conducerii și integrării în linii de fabricație flexibilă, în regim de laborator, a sistemelor robotice autonome 2DW/1FW și 2DW/2FW echipate cu manipolatoare 6-DOF; Prototipul 3 (Autonomous Omnidirectional Vehicle 4DW/SW);

Obiective prevăzute.

- Modelele cu Rețele Petri Hibride(RPH) a doua linii de mecatronica, de asamblare/ dezasamblare (Hera & Horstmann) și de prelucrare/reprelucrare (Festo), deservite de sisteme autonome din gama Prototipului 2, roboți mobili (2DW/1FW) și (2DW/2FW) echipați cu manipolatoare 6-DOF.

Obiective realizate.

1. Model general cu SHPN corespunzător liniei mecatronice de asamblare/dezasamblare deservită de RM echipat cu manipulator. Particularizare model cu SHPN pentru linia mecatronica HERA & Horstmann.
2. Modele cu SHPN corespunzătoare fiecărei etape de dezasamblare pe linia reversibilă de asamblare/dezasamblare HERA & Horstmann.
3. Rezultate ale simulării off-line a modelelor cu SHPN corespunzător liniei de mecatronică HERA & Horstmann, pentru cele șase etape ale subproceselor de dezasamblare.
4. Rezultate ale simulării off-line pentru determinarea evoluției stărilor în modelul SHPN corespunzător etapelor de dezasamblare, în vederea proiectării structurii de conducere a liniei mecatronice HERA & Horstmann, pe baza modelelor SHPN.
5. Model cu SHPN al unei secvențe de dezasamblare deservită de doi roboți colaborativi.
6. Rezultate ale simulării off-line pentru determinarea evoluției stărilor în modelul SHPN, corespunzător unei secvențe de dezasamblare, în vederea proiectării structurii de conducere a liniei mecatronice HERA & Horstmann deservită de două sisteme robotice autonome cu acțiune colaborativă.
7. Model SHPN simplificat corespunzător unei secvențe de dezasamblare deservită de 2 roboți cu funcționare paralelă: robot echipat cu manipulator și robot destinat transportului greutăților mari (2DW/1FW Pioneer 3DX și 2DW/2FW PatrolBoot).
8. Modelul HPN corespunzător liniei de prelucrare/reprelucrare FESTO.
9. Rezultate ale simulării off-line pentru determinarea evoluției stării RM în timpul deplasării /transportului piesei în vederea reprelucrării.

Gradul de atingere a rezultatelor estimate: 100%

• Prototipul 2 (2DW/1FW Pioneer 3DX și PeopleBot echipat cu Pioneer 6-DOF Arm, 2DW/2SW PatrolBot echipat cu Cyton 6-DOF Arm și PowerBot echipat cu 6-DOF Adept Arm) cu structura de conducere și navigație integrate deservind linii mecatronice de asamblare/dezasamblare (Hera&Horstmann) și de prelucrare (Festo).

Obiective realizate.

1. Structura de conducere sliding-mode și backstepping, pentru urmărirea unei traiectorii impuse, bazata pe modelul cinematic al Prototipului 2.
 2. Simulări în MobileSim ale conducerii sliding-mode în timp continuu, pe traiectorii liniare, a vehiculului autonom 2DW/1FW. Evaluarea erorilor de conducere în mediu simulat, a erorii de urmărire pe axa X, erorii de urmărire pe axa Y și a erorii de urmărire a direcției.
 4. Simulări în MobileSim ale conducerii sliding-mode în timp continuu a vehiculului autonom 2DW/1FW, pentru deservirea unei linii de asamblare cu 5 posturi de lucru, considerată ca linie de test în MobileSim. Evaluarea erorilor de conducere în mediu simulat, a erorilor de urmărire a traiectoriilor elementare.
 5. Structura de conducere în timp real bazata pe tehnici neliniare avansate sliding-mode și backstepping pentru urmărirea unei traiectorii liniare, pentru Prototipul 2, în condiții de laborator. Prototipul 2 include o platformă mobilă 2DW/1FW Pioneer 3DX, un modul de comunicație cu conversie RS232 la WiFi, un manipulator robotic AL5D pentru PLTW Lynxmotion cu modul bluetooth și un controler NI-CVS-1454. Rezultate de implementare și testare.
 6. Structura de conducere în timp real a Prototipului 2, bazată pe algoritmi de conducere sliding-mode, pentru deservirea unei linii de asamblare cu 5 posturi de lucru, în condiții de laborator. Rezultate ale evaluării erorilor de urmărire pe direcțiile axelor OX și OY, ale erorilor de urmărire a suprafeței de alunecare pentru conducerea în timp real pe baza algoritmilor avansați sliding-mode și backstepping.
- Gradul de atingere a rezultatelor estimate: 100%

Diseminare rezultate

Eugenia Minca, Adrian Filipescu, Henri-George Coanda, Florin Dragomir, Otilia Dragomir, Cycle Time Optimization of a Reversible A/DML Served by a Mobile Robotic System, 19th International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC), 14.oct. 2015

Eugenia Minca, Modelling and Control of an Assembly /Disassembly Mechatronics Line Served by Mobile Robot with Manipulator, Chapter 7, Habilitation Thesis: *The production systems modelling by specialized petri nets tools with application in the monitoring and control of manufacturing systems*, pg.96-120, "Dunarea de Jos" University of Galati, Doctoral School of Engineering, 10.oct. 2015

Proiectarea structurii de conducere sliding-mode și backstepping, pentru urmărirea unei traiectorii impuse, bazata pe modelul cinematic al Prototipului 3. Proiectarea sistemului de navigație a Prototipului 3, bazata pe sistem laser.

Conducerea la distanță a navigației platformei s-a realizat cu un sistem bazat pe un Automat Programabil / PC industrial / Controller care implementează în structura software / hardware memorarea traiectoriei, conducerea platformei de-a lungul acesteia în contextul existenței obstacolelor petraseuse, de asemenea înaintând control de alunecare specific artilor mecanum (contactul cu solul se face într-un singur punct la fiecare roată).

Astfel, pentru controlul platformei în condiții reale (în prezent incertitudinilor și a perturbațiilor) se studiază eficienta în vederea implementării mai multor metode precum **sliding mode control și backstepping control**.

Mai jos se prezintă diagramele de bază pentru implementarea acestor modalități de conducere care permit urmărirea traiectoriei impuse, evitarea obstacolelor și reducerea amplitudinilor nedorite ale platformei.

Conducerea bratului robotic se face cu ajutorul controlerului dedicat tip E91, Kawasaki, capabil sa coordoneze 6 axe, cu servosisteme digitale, alimentat la 230 Vca, 50Hz. In echiparea acestui controller este si consola Teaching Pad pentru implementarea cinematicii in functie de aplicatie.

Etapa 3 –

Prototipul 1 (2DW/2FW Cirrus Power Wheelchair): Conducerea în timp-real și testarea scaunului cu roțile.

Prototipul 2 (2DW/1FW Pioneer 3DX echipat cu Pioneer 6-DOF Arm si 2DW/2SW PatrolBot echipat cu Cyton 6-DOF Arm): Integrarea sistemelor robotice echipate cu manipuloare în linia de posturi autonome asamblare generala.

Prototipul 3 (4DW/SW Autonomous Ominidirectional Vehicle SEEKUR echipat cu 6-DOF SEEKUR outdoor manipulator): Utilizarea vehiculului autonom echipat cu manipulator la operatii de transport și manipulare în procese din industria sticlei.

Implementarea în timp-real si testarea în regim de laborator a structurii de conducere si de navigatie a scaunului cu roțile Cirrus Power Wheelchair-obiectiv realizat 100%

Pentru testarea în timp real s-a ținut cont de o serie de factori cum ar fi performanțele camerei video folosită, puterea de procesare a calculatorului instalat pe scaunul electric mobil, elementele perturbatoare în identificarea irisului, etc.

Datorită numărului redus de etape parcurse pentru extragerea irisului din imaginile video achiziționate în timp real, soluția propusă este mult mai rapidă în comparație cu alte soluții propuse în literatură. Sistemul permite portabilitatea acestuia pe orice platformă robotică și controlul acestuia la distanță.

Mai jos sunt prezentate rezultatele în timp real pentru cele trei direcții de navigare: direcția ÎNAINTE și STOP Fig.11, direcția STÂNGA Fig.12 și direcția DREAPTA Fig.13.

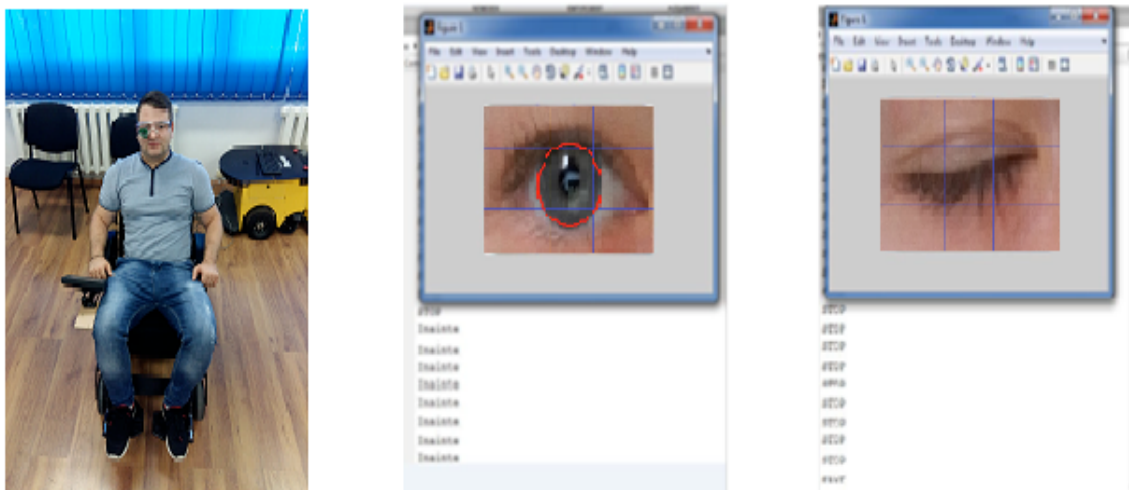


Fig.5. Rezultatele în timp real obținute pentru direcția ÎNAINTE și STOP



Fig. 6. Rezultatele în timp real obținute pentru direcția STÂNGA

Prototipul 2 (2DW/1FW Pioneer 3DX echipat cu Pioneer 6-DOF Arm și 2DW/2SW PatrolBot echipat cu Cyton 6-DOF Arm): Integrarea sistemelor robotice echipate cu manipuloare în linia de posturi autonome asamblare generala.

Obiective prevăzute.

Prototipul 2 (2DW/1FW Pioneer 3DX, 2DW/2SW PatrolBot echipat cu Cyton 5-DOF Arm) deservind liniile de posturi autonome de asamblare.

Obiective realizate.

1. Structura de conducere și navigație a Prototipului 2 cu structura hardware modificată: sistem robotic autonom 2DW/1FW Pioneer 3DX echipat cu manipulator 6-DOF (care înlocuiește manipulatorul robotic AL5D din Etapa 2)
2. Structura de conducere a brațului robotic Mover6, sub platforma de simulare CPRog. Interfața CPRog pentru Mover6.
3. Structura de conducere în timp real și navigație a 2DW/1FW Pioneer 3DX și structura de conducere a manipulatorului 6-DOF, bazate pe dinamica stărilor din modelul SHPN, corespunzătoare etapelor de dezasamblare ale liniei mecatronice HERA & Horstmann deservite de robot autonom echipat cu manipulator.
4. Rezultate ale conducerii în timp real a Prototipului 2, integrat în activități de deservire a unor procese de fabricație, în condiții de laborator. Traseele de test s-au efectuat pentru deservirea a 2 – 6 posturi de lucru, pe baza unor scenarii de deplasare și manipulare a obiectelor.
5. Rezultate de evaluare a erorilor de conducere în timp real, a erorii de urmărire pe axa X, a erorii de urmărire pe axa Y și a erorii de urmărire a direcției.

Gradul de atingere a rezultatelor estimate: 100%

Diseminare rezultate

Eugenia MINCA, Henri George COANDA, Adrian FILIPESCU, Camelia FRATILA, Florian ION, Adriana FILIPESCU, *Hybrid Models for Simulation of Mechatronics Lines Served by Parallel or Collaborative Mobile Robots*, Journal of Control Engineering and Applied Informatics, *In review* Round 2.

H.G. Coandă, E. Mincă, F. Ion, I. Caciulă, *Solutions for driving 2DW/1FW mobile robots using sliding-mode control*, Journal of Electrical Engineering, Electronics, Control and Computer Science (JEECCS), indexat BDI, ISSN 2207-3528, nr.3, 2016

Jianu Ovidiu, *Comanda prin WiFi a mișcării robotului mobil Pioneer-3DX*, proiect de diplomă, specializarea Tehnologii și Sisteme de Telecomunicații, 14 iulie 2016;

Cornel Caceamac, *Aplicații pentru roboți mobili 2DW/1FW - studii de caz*, proiect de disertație, specializarea Sisteme Avansate de Telecomunicații, Prelucrarea și Transmisia Informației, iunie 2015;

Henri-George Coandă, *Algorithms for driving mobile robots - case studies*, prezentare în cadrul bursei Erasmus, Universitatea Paris 8, Institute Universitaire de Montreuil, noiembrie 2015.

Implementarea în timp real și testarea în regim de laborator a structurii de conducere sliding-mode și backstepping, pentru urmărirea unei traiectorii impuse a Prototipului 3. Implementarea în timp real și testarea în regim de laborator a sistemului de navigație a Prototipului 3. Implementarea în timp real și testarea în regim de laborator a acțiunii de poziționare a manipulatorului care echipează Prototipul 3-obiectiv realizat 100%

Pentru testarea mișcării s-a implementat o interfață simplificată ce permite deplasarea în toate cele 3 grade de libertate: înainte-înapoi, deplasare laterală și rotație. Fiecărei axe i-a fost asociată o viteză maximă, comanda dată de operator fiind mapată unui procent între 0 și 100% pentru fiecare axă. Interfața permite comanda în 3 axe, în cruce axele x și y, respectiv în arc rotația în jurul propriei axe.

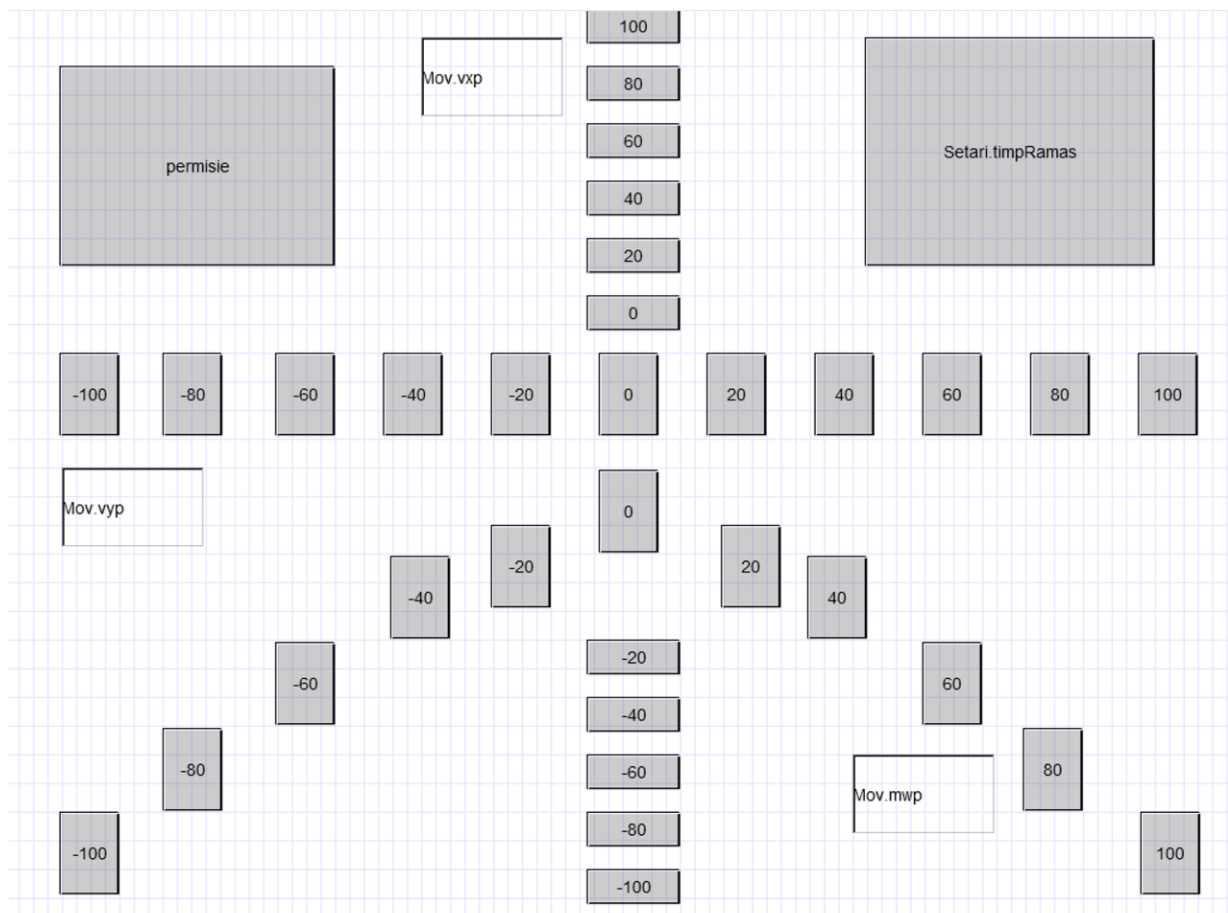


Fig.7 Interfața de navigare a vehiculului

Etapa 4 –

Prototipul 1 (2DW/2FW Cirrus Power Wheelchair): Conducerea în timp-real și testarea scaunului cu roțile, la secția de neurologie Sp. clinic de urgență “Sf. Apostol Andrei” Galati.

Prototipul 2 (2DW/1FW Pioneer 3DX echipat cu Pioneer 6-DOF Arm și 2DW/2SW PatrolBot echipat cu Cyton 6-DOF Arm): Integrarea sistemelor robotice echipate cu manipuloare în linia de posturi autonome de asamblare generală întreprinderea "DACIARENAULT", Pitesti;

Prototipul 3 (4DW/SW Autonomous Ominidirectional Vehicle SEEKUR echipat cu 6-DOF SEEKUR outdoor manipulator): Utilizarea vehicului autonom echipat cu manipulator la operații de transport și manipulare la "STICLA" Avrig.

Testarea Prototipului 1 (2DW/2FW Cirrus Power Wheelchair) în spitalul de urgență din Galati pe persoane cu dizabilități neuro-loco motorii severe. Testarea sistemului de navigație, bazată pe video- biometria feței și a ochiului-obiectiv realizat 100%;

S-a testat Cirrus Power Wheelchair cu sistemul de conducere și navigație bazate pe biometria feței și a ochiului pe o persoană cu dizabilități neuro-loco-motorii internată la Spitalul de Urgență Sfântul Apostol Andrei din Galati. Videoclipul se găsește pe site-ul proiectului la adresa www.prorobsis.ugal.ro.

Prototipul 2 (2DW/1FW Pioneer 3DX echipat cu Pioneer 6-DOF Arm și 2DW/2SW PatrolBot echipat cu Cyton 6-DOF Arm): Integrarea sistemelor robotice echipate cu manipuloare în linia de posturi autonome de asamblare generală întreprinderea "DACIA RENAULT", Pitesti.

Obiective prevazute.

Prototipul 2 (2DW/1FW Pioneer 3DX, 2DW/2SW PatrolBot echipat cu Cyton 5-DOF Arm) deservind liniile de posturi autonome de asamblare preliminară și generală, aferente modelelor Dacia Logan și Sandero la "DACIA-RENAULT", Pitesti.

Obiective realizate.

1. Structură de conducere modificată a Prototipului 2, bazată pe o arhitectură hardware de control avansat:

- *modificarea platformei de lucru.* Platforma Raspberry PI 3, care funcționa doar ca releu pentru datele expediate de PC către robot, a fost înlocuită de LattePanda; considerentele care au condus la acest demers au vizat *utilizarea sistemului de operare Windows, o putere de calcul ridicată* care a permis și conectarea unei camere video, *rularea codului executabil direct de pe placă* (independentă de PC/Laptop), *comanda de la distanță a brațului robotic prin intermediul unei conexiuni de tip TeamViewer*;

2. Structura software îmbunătățită prin:

- implementarea unor soluții de *calibrare automate*, on-board pentru robotul P3-DX și brațul robotic Mover6;
- *programarea activității brațului robotic Mover6* pentru a fi comandat de la distanță sau pentru a executa programe, independent de calculatorul de control care funcționează dedicat recepției datelor din sistem;
- implementarea unor algoritmi de conducere a brațului robotic pentru manipularea (apucare /depunere) pieselor în funcție de erorile de poziționare ale robotului P3-DX în postul de lucru;
- implementarea unor algoritmi de recunoaștere a obiectelor manipulate, prin tehnici de prelucrare a imaginilor;

3. Structura de conducere în timp real a sistemului robotic autonom 2DW/1FW Pioneer 3DX-Prototip 2 care deservește liniile reversibile de asamblare/dezasamblare și prelucrare din mediul industrial
4. Structura de navigație a sistemului robotic autonom 2DW/1FW Pioneer 3DX-Prototip 2 care deservește liniile reversibile de asamblare/dezasamblare și prelucrare din mediul industrial
5. Structura de conducere optimizată, în timp real, a manipulatorului 6-DOF Arm care echipează Prototipul 2
6. Rezultate ale implementării conducerii în timp real și testării Prototipului 2, integrat în linii de asamblare din Institutul de Cercetare Științifică și Tehnologică Multidisciplinară din UVT (ICSTM) și compania S.C. Original Com S.R.L. Târgoviște.

Am adoptat această soluție deoarece capacitățile hardware ale Prototipului 2 nu sunt în parametrii corespunzători unor teste on-line pe linii de asamblare preliminară și generală aferente modelelor Dacia Logan și Sandero la întreprinderea "DACIA-RENAULT", Pitești. Testarea Prototipului 2 pe o linie de fabricație din ICSTM și din compania S.C. Original Com S.R.L. Târgoviște, cu activitate în zona de automatizări linii de fabricație, a validat Prototipul 2 ca sistem integrat în procesele automatizate de asamblare/dezasamblare și prelucrare/repelucrare din procese industriale deservite de roboți autonomi echipați cu manipuloare.

Gradul de atingere a rezultatelor estimate: 80%

Integrarea și testarea Prototipului 3 (4DW/SW Autonomous Ominidirectional Vehicle echipat cu 6-DOF manipulator) în procese de fabricație la sticlă ("STICLA" Avrig)-obiectiv realizat 100%

La baza procesului de fabricație într-o fabrică de sticlă este cuptorul pentru topit sticlă. Un cuptor de sticlă, în principiu, conține zona de încărcare 1, de topire 2, zona de liniștire 3 și de menținere 4. Sticlarii preiau sticlă din zona de menținere 4 prin guri de acces.

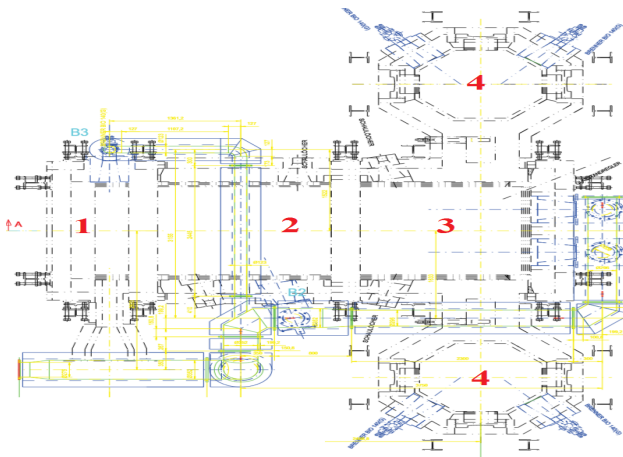


Fig. 8 Zonele unui cuptor de sticlă



Fig. 9 Gura pentru extragerea sticlei

Pentru creșterea competitivității fabricile de sticlă au nevoie de echipamente robotizate în vederea producției de serie medie și mare de produse uzuale din sticlă.



Fig. 10 Exemple de produse din sticla pretabile pentru producția de serie cu ajutorul brațului robotic
Astfel vehiculul robotizat va deservi cuptorul de sticlă executând operațiunea de extragere a unei cantități funcție de dimensiunea bilei ceramice cu care este echipată lancea și plasarea sticlei topite într-o presă care modelează sticla.

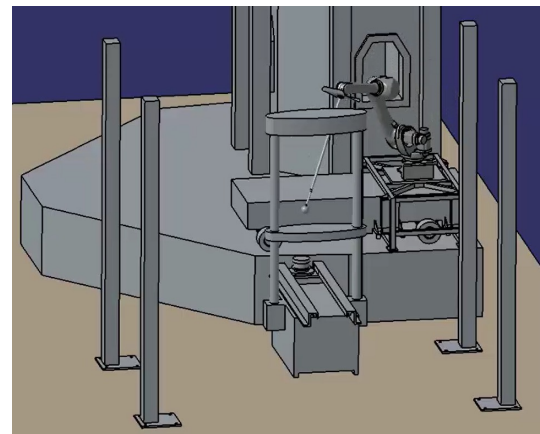
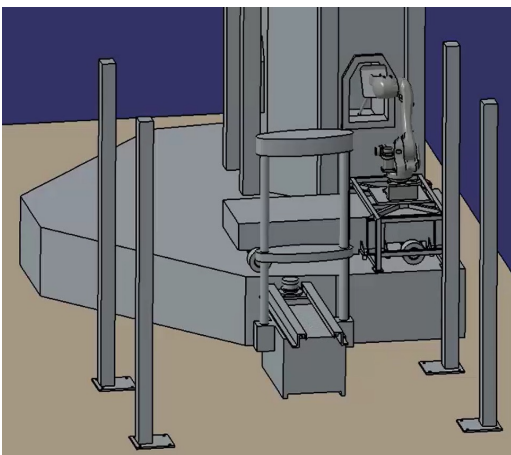


Fig. 11 Simulări ale ansamblului cuptor - robot – presa



Fig. 12 Ansamblul vehicul – brat robotic

Manipulatorul robotic este programat să reproducă mișcările manuale pentru extragerea sticlei dar cu o rată de 10 piese pe minut și o repetabilitate de +/-0,08 mm.

Vehiculul pe care este montat brațul robotic face posibilă mutarea în alt punct de lucru într-un timp de ordinul minutelor.

Diseminare rezultate

1. 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)
2. 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.
3. 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.
4. Filipescu Adrian, Filipescu Adriana, Simulated Hybrid Model of an Autonomous Robotic System Integrated into Assembly/Disassembly Mechatronics Line, *Proceedings of the 19th World Congress, The International Federation of Automatic Control*, Cape Town, South Africa. August 24-29, 2014, pp.9223-9228, ISBN: **978-3-902823-62-5**, ISSN: **1474-6670** Copyright © 2014 IFAC, DOI:10.3182/20140824-6-ZA-1003.00556.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. Razvan Solea and Daniela Cernega, Super Twisting Sliding Mode Controller Applied to a Nonholonomic Mobile Robot *Proceedings of the 19th IEEE, International Conference on System Theory, Control and Computing, ICSTCC 2015* 14-16, Oct. Cheile Gradistei, Romania, 2015, pp.87-92, ISBN: 978-1-4799-8481-7©2015 IEEE.
10. George Ciubucciu, Adrian Filipescu, Adriana Filipescu, Silviu Filipescu, Bogdan Dumitrascu, Control and Obstacle Avoidance of a WMR, Based on Sliding-Mode, Ultrasounds and Laser, *12th IEEE International Conference on Control & Automation (ICCA)*, Kathmandu, Nepal, June 1-3, 2016, ISBN: 978-1-5090-1737-9, indexed ISI-WoS.
11. Adrian Filipescu, Adriana Filipescu Jr., Eugenia Minca, Alina Voda, Hybrid Modeling, Balancing and Control of a Mechatronics Line Served by Two Mobile Robots, *International Conference on System Theory, Control and Computing, Joint Conference SINTES 16, SACCS 12, SIMSIS 16, Proceedings of the 20th IEEE, International Conference on System Theory, Control and Computing, ICSTCC2016* 13-15, Oct. Sinaia, 2016, pp. 234-239, 978-1-5090-2720-0/16/\$31.00 ©2016 IEEE.

12. George Ciubucciu, Razvan Solea, Adrian Filipescu, Adriana Filipescu, *Visual Servoing and Obstacle Avoidance Method Based Control Autonomous Robotic Systems Servicing a Mechatronics Manufacturing Line*, The 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2017), September 21-23, 2017 Bucharest, Romania.
13. H.G. Coandă, E. Mincă, I. Caciulă, F. Ion, *New solutions for robotic systems using LattePanda*, Journal of Electrical Engineering, Electronics, Control and Computer Science (JEECCS), indexat BDI, ISSN 2207-3528, Volum 3, nr.2, Issue 8, 2017 (*în evaluare*)
14. Filipescu Adrian, Minca Eugenia, Cernega Daniela, Filipescu Adriana, Solea Razvan, SHPN Models Based Simulation and Control of Mobile Robotic Systems Integrated into A/DML Proceedings of the 21th IEEE, International Conference on System Theory, Control and Computing, ICSTCC2017 19-21, Oct. Sinaia, 2017, ISBN: 978-1-5386-3841-5, accepted paper.
15. Filipescu Adrian, Solea Razvan, Petrea George, Cernega Daniela, Filipescu Adriana, Ciubucciu George, SHPN Modelling, Visual Servoing and Control of WMR with RM Integrated into P/RML, Proceedings of the 21th IEEE, International Conference on System Theory, Control and Computing, ICSTCC2017 19-21, Oct. Sinaia, 2017, ISBN: 978-1-5386-3841-5, accepted paper.

Impactul rezultatelor obținute, cu sublinierea celui mai semnificativ rezultat obținut.

Prototipul 2 este conceput ca sistem robotic autonom cu două roți motoare și una sau două roți libere (2DW/1FW sau 2DW/2FW), având un sistem de conducere de la distanță bazat pe tehnici neliniare avansate (sliding-mode și backstepping) și o structură de navigație și evitare obstacole, bazate pe ultrasunete. Platforma mobilă este echipată cu un manipulator cu 6 grade de libertate (braț robotic Mover6-DOF) al cărui sistem de conducere și poziționare de la distanță este bazat pe tehnici neliniare sliding-mode și servoing vizuale.

Prototipul 2 este capabil să transporte și să manipuleze sarcini de greutate de până la 400gr, limitarea fiind impusă de caracteristicile brațului robotic Mover6. El este destinat a opera în regim colaborativ, pentru deservirea liniilor flexibile de asamblare și de prelucrare, pentru a le face reversibile, adică să permită și dezasamblare, respectiv reprecuplare. Dezasamblarea și reprecuplarea se vor declanșa când produsul final nu corespunde cerințelor de calitate, în vederea refolosirii componentelor sau reprecuplării pentru a fi adus în parametri calitativi impuși.

Prototipul 2, echipat cu manipulator, va fi integrat în linii de fabricație care permit procesul reversibil de recondiționare a rebuturilor, cum sunt liniile de asamblare/dezasamblare și prelucrare/reprecuplare. Utilizarea Prototipului 2, ca sistem integrat în procesele automatizate și reversibile de fabricație, este o premieră în domeniu datorită eficientizării, echilibrării și reversibilizării proceselor industriale

Prototipul 3 Analiza soluției implementate

Utilizarea unui robot autonom cu mișcări liber programabile împreună cu un braț robotic este o configurație cu o serie de avantaje:

1. Produsele preluate sau prelucrate de braț pot fi deplasate către mai multe destinații, ori destinația schimbată în timpul executării mișcării
2. Utilizarea unui robot autonom este justificată în situațiile în care echipamentul care realizează prelucrarea trebuie să se deplaseze relativ rar, dar în locații diferite. Viteza de deplasare nu este comparabilă cu cea a unei benzi transportoare.
3. Utilizarea brațului robotic se poate face și pe parcursul deplasării, dar cu precizie mult mai mică. Consumul de energie suplimentar pentru acționarea robotului poate fi susținut de către

generatorul electric. Spre exemplu, se poate utiliza la trasarea cablurilor pe paturi de cabluri, ori similar, dar doar împreună cu un sistem de poziționare ori ghidare secundar.

În același timp, configurația prezintă și o serie de dezavantaje:

1. Roțile mecanum deseori alunecă liber pe variate suprafețe (gresie, pardoseală de beton, beton amprentat). Utilizarea lor doar în zonele unde pardoseala este realizată din, spre exemplu, linoleum, ce nu manifestă aceleași probleme, nu este practică, rolul lor este tocmai de a fi utilizabile pentru transport pe suprafețe extinse. Compensarea alunecării funcționează cu algoritmul descris în raportul științific, ce măsoară în permanență distanțele față de mediul înconjurător. Chiar și astfel echipamentul a rămas ocazional blocat, cu roțile suspendate între rosturile dintre gresie și incapabil de a fi repus în funcțiune altcumva decât cu ajutor extern.
2. Echipamentul scanează mediul înconjurător doar până la înălțimea de aprox. 1m. Această înălțime este suficientă pentru a evita coliziunea cu pereții încăperilor și majoritatea obstacolelor întâlnite în mediul industrial. În schimb, în același mediu industrial se întâlnesc deseori paturi de cabluri ori conducte ce au înălțimea de aprox. 2-2,5m. Brațul robotic se pliază, în poziția de parcare, până la 2,1m, înălțime la care deplasarea lui nu necesită adaptări speciale. Totuși, multe dintre spațiile industriale nu pot acomoda un robot cu lățimea de 1,6, lungimea de 3,7 și înălțimea de 2,3m în tot spațiul industrial. Accesul lui trebuie restricționat.
3. Soluția actuală de alimentare este folosind un generator electric alimentat cu benzină. Soluția are dezavantajul de a putea fi utilizată doar în spații cu ventilație forțată. Chiar dacă volumul de gaze arse generat de motorul termic este foarte mic (putere de 1,5kW), ventilația este necesară. În hala industrială a cuptorului de sticlă, această condiție era deja îndeplinită datorită temperaturii foarte ridicate, ce necesita ventilație.
4. Robotul funcționează liber și autonom. Sistemul de evitare a coliziunii ar putea fi îmbunătățit prin sisteme de poziționare în spațiu, preferabil redundante, ce să asigure întreruperea alimentării în situația depășirii limitei de siguranță. Momentan sistemul funcționează exclusiv într-un spațiu dedicat, unde niciun operator nu are acces cât timp echipamentul este în funcțiune.

Funcționarea manipulatorului

Manipulatorul este capabil să preia sticla din cuptorul de sticlă și să o depună pe presă în vederea formării. Obiectivul este realizat, echipamentul este capabil de această sarcină.

Dificultatea o reprezintă funcționarea nesupravegheată, întru-cât există situații în care sticla nu se depune corespunzător pe brațul de prelevare (materialul nu a fost complet preluat la prelevarea anterioară, ori fluiditate mai redusă în momentul prelevării, ...), rezultând într-o piesă de calitate inferioară.

Un operator uman identifică o preluare necorespunzătoare și poate prelungi perioada de prelevare. Totuși, manipulatorul poate funcționa corespunzător pentru un număr de 92 de prelevări din 100, o valoare suficientă pentru a fi considerat acceptat.

Sarcina de deplasare a manipulatorului între puncte de lucru a fost, prin utilizarea robotului, automatizată.

Soluțiile propuse pentru deplasare și analiza mediului înconjurător au fost implementate cu succes și constituie puncte de plecare pentru dezvoltări ulterioare. Sistemul de navigație implementat, bazat

pe recunoașterea mediului în urma identificării un ultrasunete, este suficient de robust pentru a funcționa corespunzător în mediul industrial.

Robotul este capabil să urmărească o traiectorie impusă, preprogramată și memorată, și să recunoască ajustările necesare pentru a reveni la traiectoria impusă, atunci când deviațiile sunt semnificative.

Compensarea alunecărilor și identificarea adaptivă a mediului sunt modificări implementate având în vedere necesitatea de a realiza un sistem robust, ce să poată face față diferențelor între mediul de laborator și mediul aplicației.

Deplasarea robotului acțiunea de poziționare a fost implementată și testată, atât în regim de laborator cât și în mediul industrial. Echipamentul a fost integrat și testa în procele de fabricație a sticlei la ”Sticlă SA” Avrig.

Propuneri de îmbunătățiri ulterioare

Principala îmbunătățire ce poate fi adusă oricăror roboți cu deplasare cu roți omni-direcționale este sistemul de blocare a rotației segmentilor de roată, în vederea eficientizării deplasării pe distanțe lungi, cu direcție fixă.

Utilizarea unui senzor 3D, cu scanare laser, ar putea fi o soluție pentru a îmbunătăți precizia poziționării și viteza de răspuns.

În același timp, această soluție manifestă mai multe probleme:

- prețul mare al senzorilor nu le permite utilizarea pe toate cele 4 laturi, și implicit anularea avantajului roților omni-direcționale;
- senzorii laser au dificultăți majore în detectarea corpurilor transparente
- senzorii ultrasonici detectează obiecte relativ mici, de ordinul centimetrilor, de la distanțe suficient de mari pentru a preveni coliziunea, chiar dacă senzorul nu este îndreptat direct către obiectul respectiv. Acest fenomen este datorat dispersiei undelor sonore. Senzorii laser nu manifestă acest efect, deci dacă senzorul nu vizează direct un obiect ce ar putea deveni obstacol, nu îl va detecta.
- Interpretarea rezultatelor unui scanner 3D trebuie realizată de un sistem dedicat de procesare cu viteză mult mai mare decât a sistemului descris anterior.

Sistemele de scanare a împrejurimilor cu senzori laser sunt în primul rând folosite pentru prevenirea coliziunii în medii controlate, între poduri rulante, vapoare, bacuri sau vehicule de transport. Informația este utilizată strict pentru a preveni deplasarea într-o anumită direcție, nu pentru a naviga în mediul înconjurător. Alunecarea segmentilor de roată duce la un randament al deplasării mult redus față de roțile simple. Având în vedere că traiectoria este, cel puțin în acest caz, în mare măsură liniară între cele 2 punct, avantajele randamentului crescut ar fi substanțiale. În același timp, este necesară și comanda adițională a servomotoarelor ce blochează segmentii. Manipulatorul a permis realizarea și a 10 piese pe minut, cu precizie suficient de bună. Totuși, având în vedere fluiditatea sticlei topite, în lipsa supravegherii operatorului sistemul poate manifesta dificultăți în operare.

Director Proiect:PN_II_PT_PCCA_2013_4_0686
Prof. Dr. Ing. Adrian FILIPESCU

