

REMOTE MONITORING AND CONTROL OF A ROBOTIC ARM FOR SERVICING A PNEUMATIC PRESS

MITOCARU Ștefan Romeo

Facultatea: IIR, Specializarea: IAI, Anul de studii: IV, e-mail: mitocarustefan@gmail.com

Conducător științific: Prof.dr.ing **Tom SAVU**

REZUMAT: This scientific writing focuses on the design of an algorithm and the development of a computer application for remote monitoring and control of a robotic arm for servicing a pneumatic press. This application is built in the programming environment called LabView and aims to algorithmize the movements of a robotic arm with six degrees of freedom to optimize the workflow in a pressing cell. The main objective of this computer application is the remote control of the robotic arm and its communication with the work cell through a web services communication protocol.

CUVINTE CHEIE: IoT; inverse kinematics; end effector transform; joint positions.

1. Introducere

Industria 4.0 este o nouă fază a revoluției industriale, care se concentrează foarte mult pe interconectivitate, automatizare, învățare automată și prelucrarea datelor în timp real [1].

O componentă a industriei 4.0 este IIoT care mai este cunoscută drept producție inteligentă și este însoțită de producția fizică împreună cu operațiuni ce au la bază o tehnologie digitală inteligentă, machine learning și big data pentru a crea un ecosistem mai puternic conectat pentru companiile ce au ca domeniu de activitate producția sau gestionarea lanțurilor de aprovizionare, companii care se confruntă în ziua de azi cu o provocare comună și anume nevoia de conectivitate și acces la informații în timp real între procese, produse și oameni [1].

Internet of Things sau IoT presupune interconectarea obiectelor electronice, robotice și nu numai, cu diverse dispozitive de culegere a datelor sau conexiune la internet cu scopul de a forma o rețea.

Domeniul roboticii reprezintă o componentă importantă în industria 4.0 deoarece producția inteligentă depinde de noi tipuri de mașini, cum ar fi dispozitivele colaborative și mobile care sunt interconectate [2].

Momentele de întrerupere neprogramate ale fabricilor reprezintă una dintre cele mai răspândite cauze de ineficiență în producția de azi iar pe măsură ce roboții devin mai conectați digital și folosesc mai mulți senzori vor deveni mult mai puțin susceptibili la întreruperi [2].

Cel mai utilizat dispozitiv mecanic în domeniul roboticii este considerat brațul robotic cu șase grade de libertate deoarece acesta poate funcționa în diferite medii complexe, cu o precizie și acuratețe ridicată, și prezintă o autonomie superioară [3].

Pentru a obține un control precis al brațului robotic, datele trebuie transmise de la distanță în timp real cu ajutorul IoT și aplicațiilor web [3].

Componentele ce alcatuiesc sistemul(celula):

- Spațiu de stocare;
- Presa pneumatică;
- Braț robotic;
- Vehicul autonom;

Modul de funcționare a sistemului:

- Semifabricatele care urmează să fie prelucrate pe presă sunt aduse de către un vehicul autonom (AGV);
- În momentul în care AGV-ul a sosit cu un semifabricat, brațul robotic îl preia pe acesta din urmă și fie îl stochează în raft, fie îl depune direct pe presă pentru prelucrare;
- Ordinea în care semifabricatele existente în sistem sunt așezate pe presă pentru prelucrare este stabilită prin accesarea unei baze de date online;
- După ce un reper a fost prelucrat pe presă, brațul robotic îl poate muta fie în raft, fie pe AGV, dacă acesta din urmă este disponibil.

Obiective propuse:

- Brațul robotic trebuie să fie capabil să preia datele transmise de către un operator prin browser dar și prin intermediul unei aplicații;
- Brațul robotic trebuie să fie capabil să comunice cu sistemul, preluând sau trimițând date în exterior printr-un protocol de comunicare de tipul Web Services;
- Pentru că un reper să fie prelucrat, acesta trebuie să fie programat pentru prelucrare. Programarea poate fi făcută fie de către un operator, prin intermediul unei interfețe Web, fie de către o aplicație;
- În momentul în care este adus de către vehicul, un reper nu este preluat din vehicul de către brațul robotic decât dacă a fost programat anterior;
- În momentul în care brațul robotic preia din vehicul un reper, acesta îl așeza fie pe presa pneumatică pentru prelucrare fie în raftul de stocare în funcție de disponibilitatea presei;
- În cazul în care presa pneumatică nu este liberă, brațul robotic este programat să depună semifabricatul în raftul de stocare;
- În cazul în care nu sunt locuri disponibile în raftul de stocare, brațul robotic este programat să nu preia nici-un reper din vehiculul autonom;
- În momentul în care presa pneumatică este liberă, brațul robotic este programat să preia un reper din raftul de stocare și să îl așeze pe presă pentru prelucrare;

Problema impusă constă în programarea și stabilirea ordinii operațiilor pe care brațul robotic trebuie să le efectueze pentru a eficientiza procesul de prelucrare a semifabricatelor în cadrul sistemului.

Modalitatea prin care a problema a fost rezolvată iar obiectivele au fost atinse, a fost simularea celulei într-un program CAD pentru a stabili poziția componentelor dar și a coordonatelor fiecărui punct pe care brațul robotic trebuie să îl atingă ca mai apoi mișcările acestuia să fie simulate în mediul de programare LabView. După programarea algoritmilor de funcționare a brațului robotic și stabilirea ordinii operațiilor acestuia, va fi realizat protocolul de comunicare între acesta și celula de lucru.

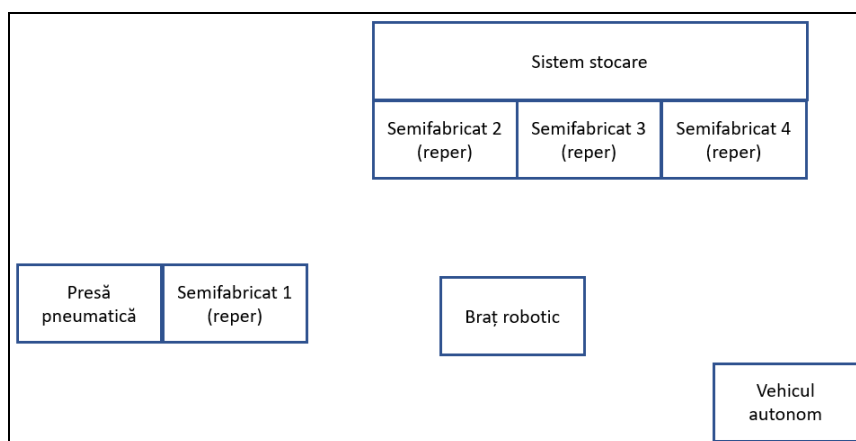


Fig. 1. Schema sistemului

2. Stadiul actual

Programarea mișcărilor brațului robotic de la o celulă din raftul de stocare la alta, la presă sau la vehicul și înapoi necesită programarea mișcărilor de retragere și pătrundere pe orizontală la raft/presă iar în cazul vehiculului pe verticală.

Mișcarea efectorului se realizează pe un segment de dreaptă, întodeauna cu o rotație de 90° după retragere respectiv înainte de pătrundere, pentru ca gripper-ul să se afle mereu în poziție perpendiculară față de componentele sistemului unde acționează.

Programarea mișcărilor brațului robotic a fost grupată în programarea deplasării primelor patru articulații (J0-J1-J2-J3) și programarea deplasării ultimelor două articulații (J4-J5), astfel mișcarea gripper-ului fiind independentă față de restul mișcărilor brațului.

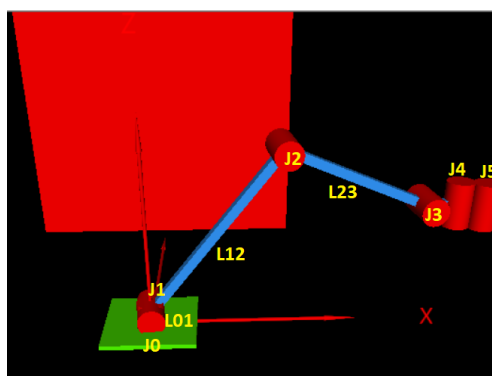


Fig. 2. Simularea arhitecturii brațului robotic in LabView

Simularea mișcărilor brațului robotic este realizată în cadrul unui VI numit **6R_Robot_Retragere.Depunere** unde pentru fiecare punct al mișcării este realizat un update al pictogramei, cu fiecare succesiune a unghiurilor din articulații, după cum este prezentat în figura de mai jos:

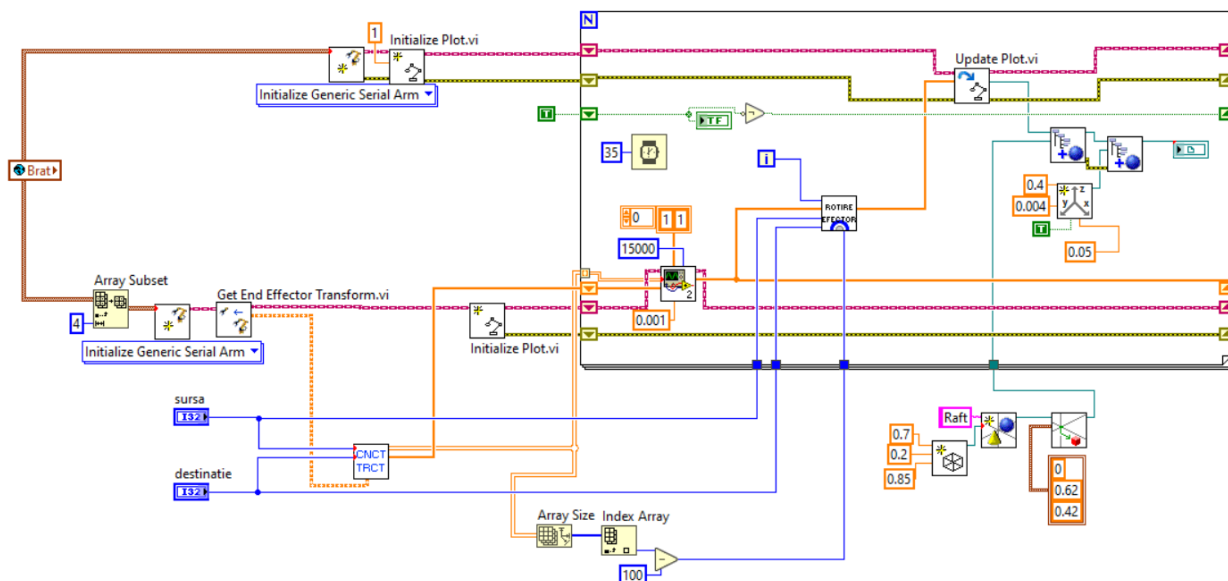


Fig. 2. 6R-Robot-Retragere.Depunere.vi

Cunoscând pozițiile între care trebuie să se deplaseze eful (gripper-ul), trebuie determinate pozițiile unghiulare succesive ale articulațiilor brațului utilizând cinematică inversă.

Pentru calculul cinematicii inverse a fost folosit VI-ul numit **Inverse Kinematics** ce preia ca date de intrare pozițiile unghiulare curente ale articulațiilor și traiectoria carteziană interpolată a acestora.

Atât în cazul mișcării de depunere cât și a celei de retragere, calculul unei traiectorii simple între două puncte se realizează utilizând VI-ul **Calcul traiectorie** ce generează un set de 50 de matrice de tipul **end effector transform**, ce conțin valori ale traiectoriei carteziene interpolate.

Calculul traiectoriei finale a fost realizat cu ajutorul VI-ului **Concatenare traiectorie** ce concatenează câte 50 de matrice a unei traiectorii simple într-un set final a câte 150 respectiv 200 de matrice în funcție de complexitatea deplasării.

Fiecare deplasare a brațului robotic, fie de la presă la raft, fie de la raft la vehicul cât și invers, este alcătuită din trei segmente de traiectorie simplă pe care brațul robotic se deplasează, segmente ce includ mișcările obligatorii de retragere dar și de pătrundere.

În cazul unor deplasări pe porțiuni mai extinse a fost constatat faptul că brațul robotic nu poate ajunge atât de ușor în anumite poziții așadar au fost alese niște rute ocolitoare pentru a facilita deplasarea acestuia, astfel a fost concatenat încă un set ce conține 50 de matrice la setul de matrice a traiectoriei finale.

În VI-ul **Globals**, au fost stocate la nivelul unei matrici 2D ca structuri de date globalizate, coordonatele tuturor punctelor între care brațul robotic trebuie să se deplaseze.

În același VI au fost adăugate atât punctele mișcărilor obligatorii cât și ale rutelor ocolitoare sub forma unei matrici de clustere ce conțin la rândul lor matricea cu indicii fiecărei deplasări în parte.

Matricea 2D a coordonatelor tuturor punctelor deplasării conține 35 de coloane, fiecare coloană corespunzând unui punct de coordonate X,Y,Z de pe traiectoria brațului robotic. Deoarece gripper-ul nu este prezent în simulare, coordonatele punctelor au fost stocate în structura de date globalizată cu o modificare ce constă în scăderea a 200 mm pe axa Z în cazul raftului respectiv pe axa X în cazul preseii/vehiculului.

Pentru generarea pozițiilor unghiulare și a matricii traiectoriei interpolate ale primelor patru articulații, este utilizat VI-ul **Concatenare traiectorie** ce ține cont de mișcările obligatorii ce trebuie executate între puncte dar și de rutele ocolitoare prin care brațul trebuie să treacă pentru a avea o mișcare de retragere/depunere uniformă.

Pentru fiecare matrice a fiecărui set rezultat se calculează un vector **joint positions**, vector ce reprezintă poziția inițială a articulațiilor pentru fiecare mișcare.

Calculul pozițiilor unghiulare succesive ale articulațiilor brațului robotic este realizat cu ajutorul VI-ului **Inverse Kinematics** ce generează unghiurile articulare ale brațului având în vedere locația finală a ultimei articulații în raport cu originea acestuia.

VI-ului **Inverse Kinematics** îi este specificat atât numărul de pași în care brațul robotic trebuie să execute deplasarea dar și precizia cu care acesta o execută.

Pentru controlul ultimelor două articulații ale brațului robotic unde este inclus efectorul acestuia, a fost utilizat VI-ul numit **Rotire efector**.

În cazul mișcării de retragere/depunere, VI-ul **Rotire efector** este responsabil pentru modificarea poziției unghiulare a articulației J3 la valoarea:

$$J3 = -(J1 + J2)$$

pentru a aduce porțiunea de braț J3-J4-J5 în plan orizontal, apoi adaugă la vectorul **joint position** încă două valori, reprezentând pozițiile unghiulare ale articulațiilor J4 și J5.

La retragerea din **raft** sau în cazul apropierii de acesta, deoarece ultima porțiune de braț J4-J5 trebuie să se afle într-o poziție paralelă față de axa de coordonată Y, poziția unghiulară a articulației J4 se calculează cu relația:

$$J4 = J0 - \pi/2$$

La retragerea de la **presă** sau în cazul apropierii de aceasta, deoarece ultima porțiune de braț J4-J5 trebuie să se afle într-o poziție paralelă față de axa de coordonată X, poziția unghiulară a articulației J4 se calculează cu relația:

$$J4 = J0 - \pi$$

La retragerea de la **vehicul** sau în cazul apropierii de acesta, deoarece ultima porțiune de braț J4-J5 trebuie să se afle într-o poziție paralelă față de axa de coordonată X, poziția unghiulară a articulației J4 se calculează cu relația:

$$J4 = J0$$

Pentru a determina momentul începerii schimbării poziției unghiulare în funcție de iterația curentă a fost folosită condiția:

$$i \leq As - 100$$

Prin compararea numărului iterațiilor curente cu noua valoare a mărimii matricei end effector, în funcție de mărimea inițială a matricei, mișcarea efectorului va începe întodeauna după 50 respectiv 100 de iterații după cum urmează:

- în cazul în care dimensiunea matricei end effector este egală cu 150, rotirea efectorului are loc pe porțiunea 50-100;
- în cazul în care dimensiunea matricei end effector este egală cu 200, rotirea efectorului are loc pe porțiunea 100-150;

În cazul deplasării de la raft la presă/vehicul sau înapoi, efectorul necesită rotirea cu unghiul $\pi/2$ a articulației J4 și se efectuează pe parcursul a 50 de pași. La fiecare pas, poziția unghiulară a articulației J4 este:

$$J4_i = J0 - \left(\frac{\pi}{2} + i \cdot \delta J\right), \text{ raft} \rightarrow \text{presă} / \text{vehicul} \rightarrow \text{raft}, \quad (1)$$

$$J4_i = J0 - \left(\frac{\pi}{2} - i \cdot \delta J\right), \text{ presă} \rightarrow \text{raft} / \text{raft} \rightarrow \text{vehicul}, \quad (2)$$

unde

$$\delta J = \frac{\pi}{2} / 50$$

În cazul deplasării de la o celulă a raftului la alta, efectorul își menține poziția paralelă cu axa Y iar articulația J4 nu își modifică poziția unghiulară în funcție de J0.

3. Concluzii

Implementarea unei astfel de aplicație informatice pentru monitorizarea și controlul de la distanță prin IoT al unui braț robotic în cadrul unei celule de producție, reprezintă un pas major în optimizarea procesului de fabricație prin reducerea timpilor de execuție a proceselor, și prin creșterea colaborării brațului robotic cu diferite subsisteme din cadrul mediului de lucru în care acesta este amplasat. În momentul acutal au fost atinși pașii ce prevad modelarea brațului robotic într-un program CAD, alegerea servomotoarelor cât și a senzorilor/traductorilor, dar și proiectarea algoritmului cinematicii brațului robotic în mediul de programare LabView, iar urmatorul pas al cercetării este realizarea algoritmului prin care acesta comunică cu celula de producție urmând următoarele specificații:

Celula va primii următoarele informații despre semifabricatele care urmează să sosească:

- ID-ul semifabricatului;
- momentul cel mai devreme al sosirii vehiculului de transport;
- momentul cel mai târziu la care piesa rezultată din prelucrare trebuie să fie încărcată în vehicul.

La primirea informațiilor despre un semifabricat care urmează să sosească, celula evaluează posibilitatea satisfacerii comenzii și răspunde cu un mesaj în format XML. Mesajul poate descrie una dintre următoarele situații:

- Order_Accepted;
- Storage_Full (spațiul de stocare va fi complet ocupat la momentul sosirii vehiculului, ceea ce impune ca vehiculul care va sosi să aibă cel puțin un loc liber pentru depozitarea unei piese);
- Too_Fast (momentul la care piesa prelucrată trebuie încărcată în vehicul este prea devreme, exist alte piese care trebuie prelucrate și livrate înaintea acesteia).

4. Bibliografie

- [1]. ***, What is industry 4.0, Epicor. <https://www.epicor.com/en/resource-center/articles/what-is-industry-4-0/>.
- [2]. ***, Robotic in the age of industry 4.0, Assemblymag. <https://www.assemblymag.com/articles/95694-robotics-in-the-age-of-industry-40>.
- [3]. ***, Robotic Arm Control Based on Internet of Things, IEEEExplore. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8817333>.

5. Notății

Următoarele simboluri sunt utilizate în cadrul lucrării:

J0;J1;J2;J3;J4;J5 = articulațiile brațului robotic;

i = numărul de iterații;

As = marimea matricei end effector;

δJ = pasul unghiular [°].