

SIMULAREA OFF-LINE A UNEI CELULE ROBOTIZATE PENTRU ETANSAREA CAROSERIILOR AUTO

ILIE Florentin - Marian¹

Conducător științific: Prof.dr.ing. Adrian - Florin NICOLESCU

REZUMAT Complexitatea operațiilor de asamblare din industria auto aduce în discuție o serie de dificultăți când vine vorba de gradul de automatizare. Lucrarea de față prezintă o abordare originală privind programarea și simularea off-line a celulelor dedicate operațiilor de aplicare a adezivilor din industria auto. În prima parte a lucrării se realizează o sinteză a aspectelor constructiv funcționale privind integrarea roboților industriali în astfel de aplicații. Se realizează o trecere în revistă a cercetărilor din domeniu privind automatizarea proceselor de etanșare, controlul discret și programarea / simularea offline. În a doua parte a lucrării se prezintă un studiu de caz privind simularea unui proces de etanșare a caroseriilor utilizând pachetul de aplicații Siemens Tecnomatix Process Simulate, fiind prezentate particularitățile de programare privind controlul discret pe baza schimbului de semnale din mediul tehnologic. Concluziile sunt discutate în ultima parte a lucrării.

CUVINTE CHEIE: robot, control discret, programare offline, Process Simulate, aplicare adezivi

1 INTRODUCERE

Specificul aplicațiilor de asamblare din industria auto se caracterizează în concepția modernă printr-un grad ridicat de automatizare care implică utilizarea roboților industriali și a dispozitivelor anexe cu scopul de a crește productivitatea și calitatea produselor, de a îmbunătăți condițiile de muncă și de a reduce costurile. În acest sens, ponderea cea mai mare de automatizare din ciclul de producție a unui autoturism o ocupă etapele de asamblare, tratare anticorozivă și etanșare a caroseriilor (Choi s.a., 2014). Procedul tehnologic de etanșare a caroseriilor constă în aplicarea soluțiilor de tip mastic în zonele de asamblare expuse acțiunii corozive a mediului exterior (Streitberger & Dossel, 2008). Deși în prealabil de etanșare se realizează în aval un tratament anticoroziv, datorită formei complexe a suprafețelor de tratat apare problema unei acoperiri insuficiente. Zonele expuse sunt: tablele suprapuse îmbinate prin sudare prin puncte, regiunile asamblate prin nituire sau cordoanele de sudură de la îmbinarea marginilor a două sau mai multe table. Datorită necesității de reglare continuă a parametrilor tehnologici, a diferențelor dintre forma nominală folosită ca referință pentru programarea traiectoriilor generate de robot, aplicațiile de aplicare a adezivilor se bazează pe conceptul de control în buclă închisă. Acesta implică utilizarea unui calculator de proces, a unui sistem de senzori și a unui sistem de tip vedere artificială pentru a calibra poziția nominală a zonelor de îmbinare în vederea reglării traiectoriilor

și a parametrilor regimului de acoperire. Tendințele în dezvoltarea unor astfel de aplicații sunt acelea de a folosi modele care să poată fi folosite în locul modelelor fizice pentru a reproduce comportarea reală a aplicației industriale într-un mediu virtual (Constantin, 2014). Considerând specificul constructiv al aplicațiilor de etanșare din industria auto, lucrarea prezintă o abordare de simulare utilizând pachetul de aplicații Siemens Tecnomatix Process Simulate. Pentru a reproduce traiectoriile urmate de caroserii în interiorul celulei robotizate, modelul de simulare dispune de control discret pe bază de semnale. Această abordare reproduce logica din spatele operațiilor și permite implementarea la scară reală prin încărcarea directă a programului robot în controller-ele roboților.

2 STADIUL ACTUAL

O trecere în revistă a automatizării aplicațiilor de aplicare a adezivilor din industria auto este prezentată în (Mortimer, 2004). Având ca referință implementări reale, lucrarea prezintă specificul echipării tehnologice a roboților industriali care realizează operații de etanșare. Implementarea soluțiilor de control inteligent pe bază de vedere artificială pentru astfel de aplicații este prezentat în (Razban s.a, 1995).

Importanța folosirii instrumentelor de simulare virtuală 3D în procesele de asamblare din industria auto este prezentată în (Michalos s.a., 2010). În contextul actual lucrarea introduce aspecte ce țin de fabricare digitală și utilizarea instrumentelor CAD și de simulare pentru sincronizarea și validarea liniilor de asamblare din industria auto. Implementarea roboților industriali în astfel de aplicații aduce în discuție problema de control.

¹ Specializarea Inginerie Economică și Managementul Afacerilor, Facultatea IMST;

E-mail: ilieflorentin92@yahoo.com;

Simularea off-line a unei celule robotizate pentru etanșarea caroseriilor auto

Controlul unui robot se poate obține cunoscând modelul cinematic și dinamic al acestuia (Mashagbeh & Khamesee, 2014). Există o serie de aplicații care pot fi folosite pentru elaborarea unui algoritm de control. Cu toate acestea, soluțiile descentralizate complică tehnica de simulare. Performanțele aplicațiilor de programare simulare offline sunt dictate de capacitatea acestora de a importa modele 3D, flexibilitatea în definirea relațiilor dintre cuplele cinematice și capabilitățile acestora de a genera automat modelul cinematic și dinamic. Un alt aspect este acela al posibilității aplicației de a comunica cu subsistemele informaționale cu scopul de a încărca programul de lucru, de a calibra modelul virtual sau de a verifica anumite secvențe de cod (Moulianitis & Aspragathos, 2015).

Elementul de noutate al acestei lucrări constă în prezentarea soluțiilor de simulare programare offline specifice pentru o celulă de etanșare a caroseriilor auto integrată într-o linie de fabricație cu transfer al caroseriilor pe conveior și manipularea acestora cu roboți cu sarcină portantă mare. Pentru realizarea modelului de simulare se folosește pachetul de aplicații Siemens Tenomatix Process Simulate, fiind prezentate și aspecte care țin de controlul discret al aplicației pe bază de semnale.

3 APLICAȚIA PROPUȘĂ

Celula de fabricație flexibilă dedicată pentru operații de manipulare a caroseriilor auto în vederea transferului acestora de la un conveior cu lanț la un post de lucru pentru operația aplicării de adezivi, se prezintă în figura 1 - 1. Soluția utilizează

trei roboți Fanuc cu sarcină portantă mare, M2000ia-900L (vezi figura 1 – 2) echipați cu două tipuri de efectori pentru manipularea caroseriei auto între diferite stații de lucru (vezi figura 1 – 3) și patru roboți Fanuc M20ia (vezi figura 1 – 4) cu echipare tehnologică specifică aplicării adezivilor la nivelul zonelor de asamblare expuse acțiunilor corozive ale mediului exterior. O platformă mobilă (vezi figura 1 – 5) se utilizează pentru transportul caroseriei (vezi figura 1 – 6) de la intrarea (vezi figura 1 – 7) la ieșirea din celula robotizată (vezi figura 1 – 8). Prima stație de lucru (vezi figura 1 – 3) este folosită pentru a poziționa caroseria la punct fix în timp ce roboții cu sarcină portantă mică aplică adezivi. A doua stație de lucru (vezi figura 1 – 3') este echipată cu lămpi UV pentru uscarea rapidă a cordoanelor de adeziv. Fluxul tehnologic poate fi descris în cinci faze:

- 1) Caroseria intră în celula robotizată pe o platformă mobilă
- 2) Un robot Fanuc M2000ia-900L transferă caroseria la primul post de lucru
- 3) Roboții Fanuc M20ia aplică adezivi la nivelul asamblărilor expuse
- 4) Caroseria este transferată de un robot la a doua stație de lucru unde lămpile UV usucă stratul de adeziv depus
- 5) Secvența se termină atunci când caroseria este transferată înapoi pe platforma mobilă pentru a fi transportat în amonte. După ce caroseria iese din celulă, se reia ciclul de lucru pentru un alt reper

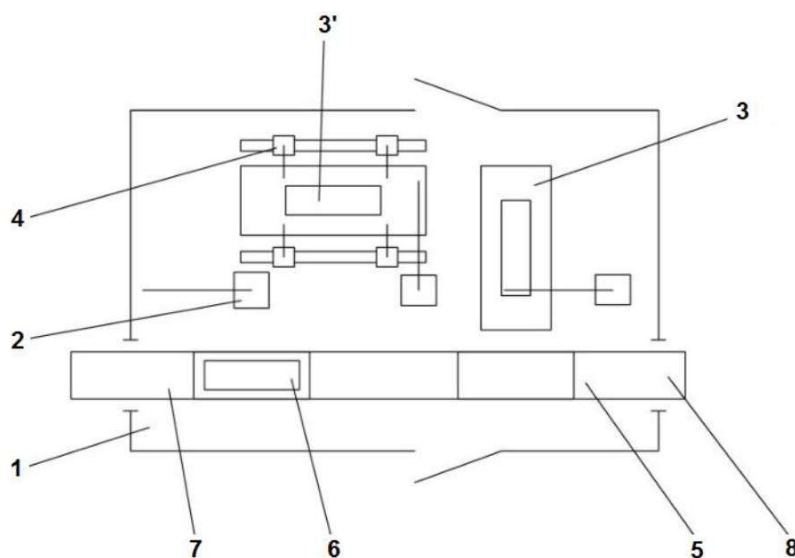


Fig.1. Reprezentare schematică a modului de dispunere a elementelor componente alecelulei studiate

3.1 Unitatea PLC și rolul acesteia în cadrul aplicației

Un automat programabil sau PLC poate fi definit ca un sistem specializat utilizat pentru controlul proceselor industriale care lucrează prin citirea intrărilor digitale sau analogice și în funcție de comportarea acestora, comută ieșirile. În simularea celulei studiate se folosesc numai semnale pentru intrări sau ieșiri digitale. Acestea convertesc semnalele provenite de la senzori într-un format digital și generează semnale electrice proporționale cu valorile digitale de la variabilele de ieșire stocate în memoria PLC-ului. Fiecărei intrări sau ieșiri i se alocă câte un bit. Rolul PLC-ului este acela de a crea și condiționa legături între controlerul roboților industriali și sistemele anexe mediului tehnologic precum conveierul cu lanț, calculatoarele de proces, prin definirea unor funcții bloc (vezi figura 2).

Programarea PLC se efectuează utilizând programe specializate care pot comunica cu aplicațiile de simulare Siemens Process Simulate

3.2 Elemente de control discret

În vederea realizării unui ciclu de lucru, entitățile circulante (caroseria în acest exemplu) urmează anumite traiectorii. Ordinea efectuării operațiilor, confirmarea începutului și finalului de secvență, prezența entităților la postul de lucru sau comanda de acționare a utilajului specific sunt

condiționate de o serie de senzori, limitatoare de cursă și/sau traductoare care sunt poziționate în mediul tehnologic pentru a prelua și a transmite informație relevantă unității PLC. Pe baza tehnicilor de achiziție a semnalelor și de procesare a acestora, sistemele de comandă realizează un control discret în buclă închisă.

În figura 3 se prezintă poziționarea senzorilor de interes în realizarea controlului discret în celulă. Tipul senzorilor și blocurile logice folosite pentru controlul aplicației sunt prezentate în tabelul 1.

Aplicația robotizată reprezintă o soluție de celulă flexibilă care poate fi interconectată cu alte sisteme de producție specifice industriei constructoare de automobile. Automatizarea celulei studiate este realizată pe baza de semnale de tip: RE (rising edge), ce se atribuie semnalelor de intrare (senzori) și FE (falling edge) ce se atribuie semnalelor de ieșire sau de comandă. Pe baza celor menționate anterior în figura 4 se prezintă blocurile de condiționare a proceselor din celulă. Acestea delimitează cele 5 faze ale ciclului de lucru din aplicație. Pe baza controlului discret se realizează ordinea de efectuare a operațiilor.

Fluxul complet în interiorul celulei se poate descrie prin detalierea celor cinci faze, cu referire la ordinea operațiilor, a modului de dispunere a utilajului aferent și a modului de dispunere a senzorilor și a rolului acestora:

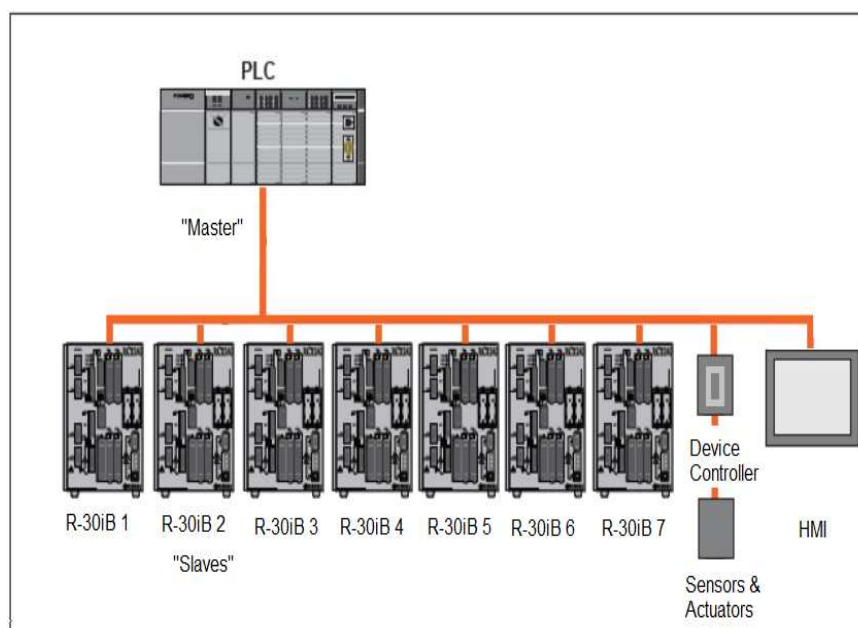


Fig.2. Schema bloc Sistem PLC – controler RI, senzori și subsistemul de comunicare cu operatorul uman

Simularea off-line a unei celule robotizate pentru etanșarea caroseriilor auto

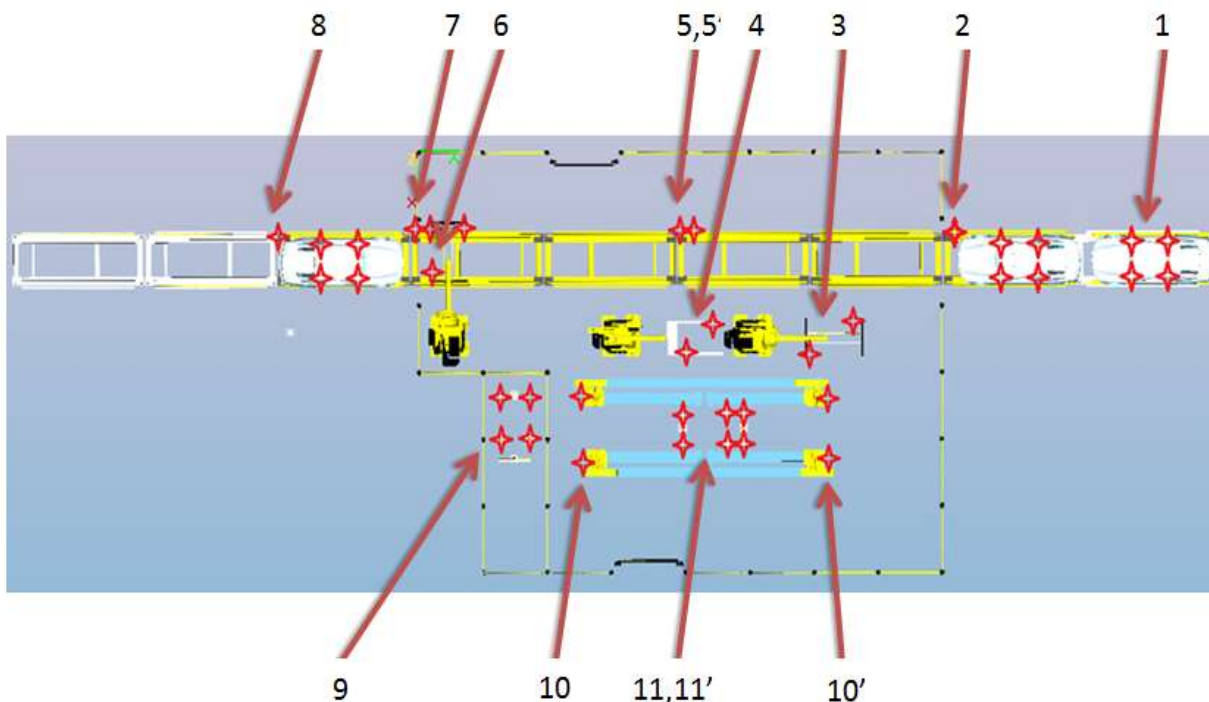


Fig.3. Detalii privind poziționarea senzorilor de inters în aplicație

Tabelul 1. Poziția, tipul, rolul funcțional și blocurile logice atribuite senzorilor din aplicație

Poziție	Tip	Rol funcțional	Bloc logic (tip)
1	E2K-X4ME1	<ul style="list-style-type: none"> Confirmare prezența caroseriei auto 	AND
2	E3F2-D1C4	<ul style="list-style-type: none"> Inițializare ciclu de lucru, interconționat SI cu 8 	-
3	E2K-X4ME1	<ul style="list-style-type: none"> Confirmare poziționare corectă a caroseriei Inițializează a doua secvență de manipulare a caroseriei de la platforma mobilă la PL1 	AND
4	E2K-X4ME1	<ul style="list-style-type: none"> Confirmarea prezenței caroseriei auto 	AND
5	E3F2-D1C4	<ul style="list-style-type: none"> Reducerea vitezei de deplasare a platformei 	-
5'	E3F2-D1C4	<ul style="list-style-type: none"> Oprire platformă la punct fix Inițializarea primei secvențe de manipulare a caroseriei de la platforma mobilă la PL1 	-
6	E2K-X4ME1	<ul style="list-style-type: none"> Confirmarea prezenței caroseriei auto 	AND
7	E3F2-D1C4	<ul style="list-style-type: none"> Oprire platformă 	-
7'	E2K-X4ME1	<ul style="list-style-type: none"> Inițializarea primei secvențe de manipulare a RI de la PL2 la platforma mobilă Acționare platformă 	-
8	E3F2-D1C4	<ul style="list-style-type: none"> Sfârșit de ciclu Derularea unui nou ciclu de lucru 	-
9	E2K-X4ME1	<ul style="list-style-type: none"> Comanda de aprindere a lămpilor UV Confirmarea poziționării corecte a caroserie pe verticală 	AND
10	Fotoelectric	<ul style="list-style-type: none"> Inițializare secvență de manipulare de la PL1 la PL2 	AND
10'			AND
11	Capacitiv	<ul style="list-style-type: none"> Poziționare corectă a caroserie pe verticală Inițializare proces de aplicare adezivi Pornire platformă 	AND

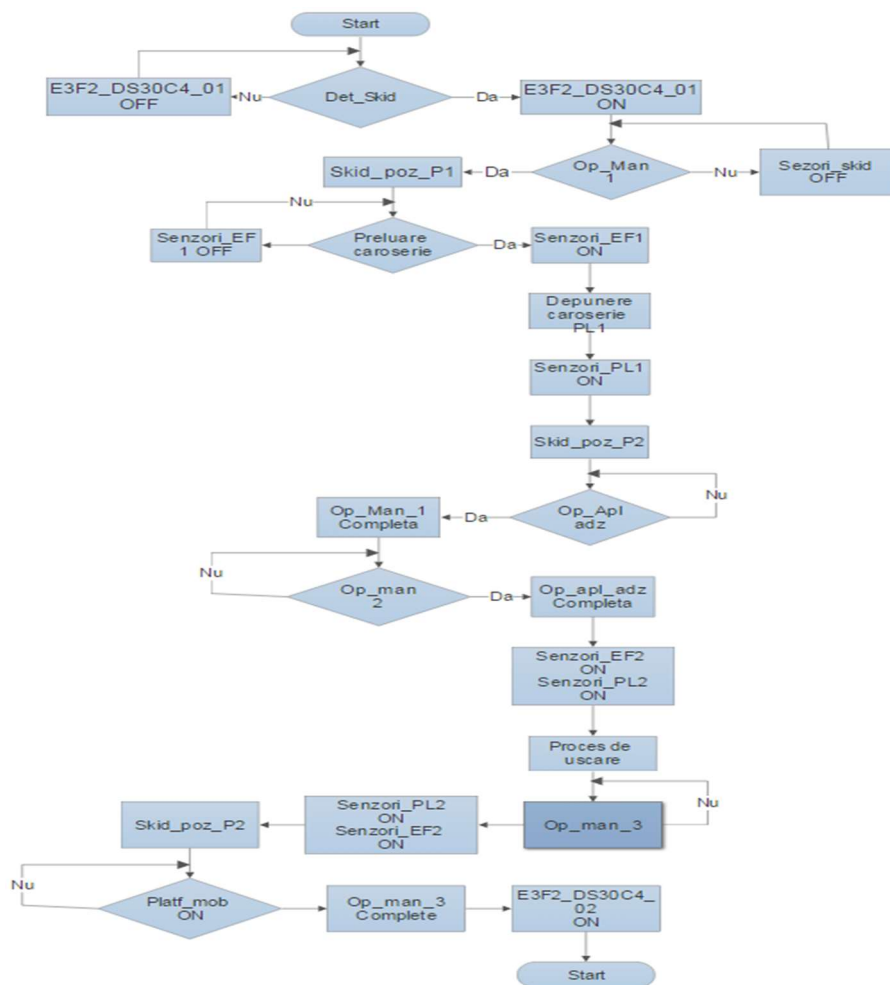


Fig.4. Organigrama blocurilor logice de condiționare a proceselor din celulă

Faza 1 – Inițializarea ciclului de lucru

Caroseria auto este transferată pe conveiorul cu lanț unde este sprijinită pe un suport mobil (cunoscut în industrie sub denumire de skid). Fiecare skid dispune de patru senzorii, (vezi poziția 1 din tabelul 1), montați în zona fiecărui punct de susținere. Aceștia au bloc de comandă de tip AND. În cazul în care caroseria nu este detectată de toți senzorii, platforma mobilă nu se mai deplasează. Inițializarea ciclului de lucru este condiționată de un senzor, (vezi poziția 2 din tabelul 1). Acesta este activat atunci când skid-ul a ajuns în zona de detecție, astfel încât robotul de manipulare de la primul post de lucru primește semnal să se deplaseze în poziția de preluare. Modulul de platformă mobilă din zona spațiului de lucru al robotului de manipulare are în componență doi senzori (vezi poziția 5 și 5' din tabelul 1), montați la o distanță de 100 mm unul față de celălalt. Platforma mobilă își reduce viteza la sfert, când skid-ul ajunge în zona de detecție a primului senzor și se oprește la punct fix când este detectată de cel de-al doilea senzor.

Faza 2 – Transferul caroseriei la prima stație de lucru

Controller-ul robotului Fanuc M2000ia-900L primește semnal de la un senzor (vezi poziția 5' din tabelul 1) și inițializează operația de manipulare. Robotul este echipat cu efector specific pentru manipularea caroseriilor, avînd în componența sa doi senzori, (vezi poziția 3 din tabelul 1), cu bloc de comandă de tip AND. Dacă caroseria este detectată de un singur senzor, robotul se oprește automat. Prima stație de lucru are și ea în componență doi senzori, (vezi poziția 11 și 11' din tabelul 1), cu bloc de comandă de tip AND. După transferul caroseriei la primul post de lucru, senzorii se activează și transmit semnal platformei mobile să se deplaseze în poziția de preluare.

Faza 3 – Începutul secvenței de aplicare a adezivilor

Cei patru roboti industriali Fanuc M20ia echipați cu efectori specifici pentru aplicarea de adezivi, trimit controlerelor semnale pentru

Simularea off-line a unei celule robotizate pentru etanșarea caroseriilor auto

amorsarea pompelor de mastic. Roboții se poziționează în poziția de lucru și aplică cordoane groase de mastic asupra îmbinărilor sudate aflate în zona de jos a caroseriei. Fiecare robot dispune de un modul de extensie a spațiului de lucru, având în componență doi senzori (vezi poziția 10 și 10' din tabelul 1), cu bloc de comandă AND pentru confirmarea atingerii de roboti a capetelor de cursa la sol. Când aceștia sunt totuși activați, operația de aplicare adezivi este finalizată.

Faza 4 – Transferul caroseriei de la stația de aplicare adezivi la stația de uscure rapidă

Robotul industrial Fanuc M2000ia-900L așteaptă conformarea de revenire în poziția de referință a celor patru roboti Fanuc M20ia. Utilizând un efector specializat de manipulare care are în componență 2 senzori (vezi poziția 4 din tabelul 1), se produce transferul caroseriei la stația de uscure rapidă cu logica similară efectorului din faza a 2-a. După ce controlerul robotului primește confirmarea de la senzorii suportului pentru uscure (vezi poziția 9 din tabelul 1), se transmite semnal pentru pornirea lămpilor UV pentru o perioadă de timp determinată specifică uscării parțiale a tipului de mastic aplicat.

Faza 5 - Transferul caroseriei de la stația de uscure la platforma mobilă

După ce incrementul temporal al lămpilor UV revine la zero, controller-ul robotului industrial Fanuc M2000ia-900L prevăzut cu efector specializat de manipulare realizează transferul caroseriei de la stația de uscure la skid (logica fiind similară cu cea prezentată în fazele precedente). Segmentul platformei mobile din zona spațiului de lucru al robotului de manipulare are în componență doi senzori, (vezi poziția 7 și 7' din tabelul 1) dispuși similar ca în cazul primului modul al platformei, astfel skid-ul întâlnește primul sensor, se reduce viteza platformei mobile. Când se întâlnește al doilea sensor, platforma mobilă este oprită la punct fix. După finalizarea operației de manipulare prin intermediul senzorilor de proximitate de la nivelul platformei mobile, se transmite un semnal care acționează platforma mobilă în amonte, reinițializând totodată secvența de lucru pentru următorul ciclu, după ce senzorul 8 detectează skid-ul.

4 CONCLUZII

Lucrarea prezintă o abordare privind programarea și simularea offline pe bază de control discret a unei aplicații de etanșare a caroseriilor din industria auto. Etapele de simulare au fost realizate utilizând pachetul de aplicații Siemens Tecnomatix Process Simulate, fiind detaliate aspecte constructiv

funcționale care guvernează relația dintre componenta fizică a celulei în concordanță cu semnalele de intrare provenite de la senzorii dispuși în mediul tehnologic și semnalele de ieșire care provin de la unitatea PLC. În edițiile următoare ale acestui demers de cercetare, autorii își propun materializarea unui sistem 3D vision aferent echipării tehnologice pentru roboții de aplicare adezivi.

5 MULȚUMIRI

Această lucrare s-a realizat prin coordonarea Prof.dr.ing. Adrian Nicolescu. Mulțumim de asemenea firmei ADA Computers SRL pentru sprijinul acordat în utilizarea software-ului Process Simulate.

6 BIBLIOGRAFIE

- [1]. Choi, S., Eakins, W.J. și Fuhlbrigge T:A., (2010), "Trends and Opportunities for Robotic Automation of Trim & Final Assembly in the Automotive Industry", Proceedings, 6th annual IEEE Conference on Automation Science and
- [2]. Constantin G. (2014), *Modelare-simulare-proiectare în domeniul mașinilor unelte și sistemelor de mașini*, Editura PRINTECH, București, ISBN 978-606-23-0290-0.
- [3]. Mashagbeh, M. și Khamesee M:B., (2014), "Modeling and simulation of an industrial scara robot:performance evaluation prior to real-world task", Proceedings, ASME 2014 Conference on Information Storage and Processing Systems ISPS2014, ASME, Santa Clara, 23-24.07.2014.
- [4]. Michalos, G., Makris S., Papakostas N., Mourtzis D. și Chryssolouris G. (2010), "Automotive assembly technologies review: challenges and outlook for a flexible and adaptive approach", 2 (2), 81-91, ISSN 0007-8506.
- [5]. Mortimer J. (2004), "Adhesive bonding of car body parts by industrial robot", 31 (5), 423-428, ISSN 0143-991X.
- [6]. Moulantis, V.C și Aspragathos N:A. (2015) *IT and Mechatronics in Industrial Robotic Workcell Design and Operation*, disponibil la: <http://www.igi-global.com/chapter/it-and-mechatronics-in-industrial-robotic-workcell-design-and-operation/113124> Accesat la data: 22.05.2016.
- [7]. Razban, A., Davies B.L., Harris S. și Efstathiou J. (1995), "Control of an automated dispensing cell with vision controlled feedback", 3 (9), 1217-1223, ISSN 0967-0661.
- [8]. Streitberger, H.J. și Dossel, K.F. (2008), *Automotive Paints and Coatings*, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, ISBN 978-3-527-30971-9.