

OFF-LINE SIGNAL BASED PROGRAMMING AND SIMULATION OF A ROBOTIC CELL FOR FINISHING PROCESS OF AUTOMOTIVE HOODS

PROGRAMAREA ȘI SIMULAREA OFF-LINE PE BAZĂ DE SEMNALE A UNEI CELULE ROBOTIZATE DE FINIȚIE A CAPOTELOR AUTO

MARIN Ionuț-Gabriel

Facultatea: IIR, Specializarea: Robotică, Anul de studii: Master II, e-mail: igabriel.marin95@gmail.com

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

SUMMARY: This paper proposes to address a common topic in the automotive industry, namely the finishing process of the auto hoods. Unlike current industry solutions, this theme seeks to both “digitize” the process (IoT) by complementing the predominant use of robots only and expanding production flexibility by using automated systems for storing and changing end-effectors for robots. Also, the operation of the cell and its testing is performed using the simulation and off-line programming environment Tecnomatix Process Simulate, being used both sensors and logical decision blocks. The design of the robotic cell and its arrangement are made based on my own vision and has been subject to change during development. The very proposal of the theme is to obtain a small cycle time and respectively to load the robots as efficiently as possible.

CUVINTE CHEIE: senzori, blocuri de decizie logică, proces robotizat, IoT, simulare de proces

1. Introducere

Industria auto este caracterizată în prezent de un proces de producție foarte complex. Este adevărat că nu există doar producție robotizată așa cum ne-am dori, ci și manuală. Figura 1 ilustrează, la modul general simplificat, procesul de fabricație al unui autovehicul.

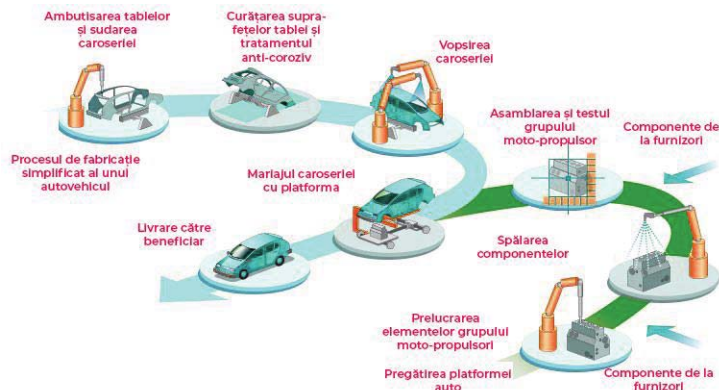


Fig. 1. Diagrama simplificată a procesului de producție al unui autovehicul

Ca o descriere de ansamblu, figura 1 arată simplificat procesul de producție din industria auto. Acesta este împărțit în două sub-ramuri care ulterior de unesc. Ramura din dreapta descrie producția șasiului (platforma) și a grupului moto-propulsor, toate elementele mecanice care intră în alcătuirea motorului și a tracțiunii. Pe ramura din stânga se regăsește în primul rând ambutisarea tablei din forma dreaptă în forme care vor defini caroseria autovehiculului, urmând sudarea elementelor de caroserie, tratamentele termice și anti-corozive ale acestora și în final vopsirea.

Lucrarea de față se va referi cu precădere la procesul de producție al caroseriei pentru un anumit model de autovehicul și are în vedere că în industria auto se pretează în marea majoritate a cazurilor la

producția de serie, a tuturor elementelor de caroserie. Din acest considerent, au fost integrați o serie de mai mulți roboți industriali, ce au ca rol: manipularea tablelor și a elementelor de conexiune, sudarea în puncte a tablelor, depunerea de mastic, cât și sertizarea tablelor. Astfel am reușit să elimin într-o proporție mare interacțiunea cu operatori umani.

Actual, lucrarea se afla într-un stadiu finalizat în proporție de 98%, ea urmând a fi susținută ca și temă de disertație. Acei 98% reprezintă, realizarea finală a unui prototip virtual al celulei robotizate, integrând șapte roboți industriali de tip braț articulat, din care patru roboți ABB IRB 6700, doi roboți ABB IRB 6640 și un robot ABB IRB 7600, respectiv șase mese de susținere din care două pentru intrarea elementelor componente ale capotei, una pentru ieșirea capotei finite, două pentru postul de depunere mastic și una cu rol de matriță pentru sertizare.

2. Stadiul actual

Finalitatea temei este dată de funcționarea simulării și programării off-line a celulei robotizate în mediul de lucru Tecnomatix Process Simulate, utilizând atât senzori, cât și blocuri de decizie logice virtuale care preiau rolul unui PLC (Programmable Logic Controller). [1]

Fiind o aplicație complexă, cu multe elemente funcționale este de la sine-înțeles că nivelul senzoricității integrate în sistemul de fabricație robotizat este unul ridicat. Printre aceștia se remarcă senzori de proximitate OMRON [2], cu rol de detecție fie a pieselor, fie a elementelor ce ajută procedeul tehnologic. De asemenea, există camere de tip vision COGNEX [3] cu rol de evaluare a anumitor proprietăți ale pieselor de trebuie asamblate, cât și senzori de presiune pentru evaluarea mesei pieselor. Voi prezenta în continuare, pe baza unei vederi de sus, dispunerea senzorilor în celulă, urmând apoi să fie denumiți și mai apoi explicat rolul fiecăruia în celulă.



Fig. 2. Dispunerea senzorilor în celula robotizată

Senzorii sau echipamentele complementare pentru funcționarea aplicației au fost numerotați cu prefixul S urmat de numere de la 1 la 24, iar tipul acestora este: S1, S11, S20 – senzori barieră luminoasă; S2, S3, S4, S5, S6, S7, S10, S12, S13, S15, S17, S18, S21, S22, S23, S24 – senzori de proximitate inductivi; S8, S9 – camere vision; S14, S16 – senzori de presiune pentru măsurarea mesei; S19 – senzor de proximitate capacitiv. Fiecare dintre acești senzori deservește un anumit echipament după cum urmează: S1 – ușă de intrare operator uman; S2 – masă intrare pentru panoul de capotă; S3 – magazie de efectori, prezență efector manipulare capotă; S4 – magazie de efectori, prezență efector manipulare panou; S5 – efector manipulare

panou; S6 – robotul R5, prezență efector sistem presor; S7 – efector sistem presor, prezență capotă; S8 – robotul R5, localizare gaură dreapta pentru centrare sistem presor; S9 – robotul R5, localizare gaură stânga pentru centrare sistem presor; S10 – matriță de sertizare, prezență capotă; S11 – ușă de ieșire capotă; S12 – masă ieșire capotă; S13 – masă depunere mastic 2, prezență panou capotă; S14 – masă depunere mastic 2, prezență panou și dublură capotă; S15 – masă depunere mastic 1, prezență panou capotă; S16 – masă depunere mastic 1, prezență panou și dublură capotă; S17 – efector manipulare pentru robotul R1, detecție dublură; S18 – masă intrare dublură capotă; S19 – ascuțitoare pentru electrod, prezență clește sudură; S20 – ușă intrare operator uman; S21 – ușă acces mentenanță; S22 – ușă acces mentenanță; S23 – ușă acces mentenanță; S24 – efector manipulare capotă.

Logica din celula de fabricație este explicată în continuare schematizat, astfel încât să fie cât mai fluentă și cât mai ușor de înțeles. Mă voi folosi de figura 3 pentru a explica pe baza elementelor componente, modul de funcționare al celulei robotizate. Pentru a fi cât mai concludent, chiar dacă modul de funcționare include operații simultane, voi porni din două direcții, prima fiind poarta de intrare cu panoul capotei, iar cea de-a doua poartă de intrare cu dublura de capotă, pentru ca în final să se reunească după procedura de mariaj și să iasă pe o singură poartă de ieșire.



Fig. 3. Denumirea elementelor componente din celulă

Robotul R3 are următoarele secvențe de funcționare: 0 – Detectează cu ajutorul senzorilor S13 și/sau S15, dacă există panouri în mesele de mastic; 1 – Evaluează dacă are în echipare prehenzor-ul pentru panou cu ajutorul senzorului S5. Se observă că valoarea acestuia este FALSE, iar valoarea senzorului S24 este TRUE. Robotul merge la magazia de efectori, unde schimbă prehenzorul.; 2 – Dacă senzorul S2 returnează valoarea FALSE; robotul rămâne în stand-by până la schimbarea acestuia în TRUE. Când valoarea S2 este TRUE și S1 este TRUE, robotul merge și preia panoul de capotă.; 3a/b – Robotul evaluează pe care masă de depuneri mastic nu există un panou, iar dacă ambele sunt goale, prima va fi masa 3a.; 4a/b – Dacă se detectează că pe mesele de depuneri mastic, valorile senzorilor S13, S14 și respectiv S15, S16 este TRUE și S10 de pe matrița de sertizare este FALSE și S5 TRUE, atunci robotul va merge și va prelua prin pasul 6 prehenzorul de capotă.; 5 – După preluarea acestuia, robotul va merge la postul 4a de unde va prelua capota pe care o va așeza în matrița de sertizare. La eliberarea unei mese de depuneri mastic, adică semnalele senzorilor S13, S14 FALSE și S10 TRUE, dar S6 TRUE și S7 FALSE sau S15, S16 FALSE și S10, dar S6 TRUE și S7 False, robotul reia pasul 1. La schimbarea valorilor pentru senzorii S6 în FALSE și S7 în TRUE, robotul analizează tipul de efector pe care îl are (necesită prehenzorul de capotă). Dacă îndeplinește funcția de S24 TRUE, atunci merge și preia capota din matrița de sertizare prin pasul 7, iar

dacă senzorul S12 este FALSE, o așează pe masa de ieșire după care își reia ciclul. Traseele robotului R3 pot fi observate în figura 4.

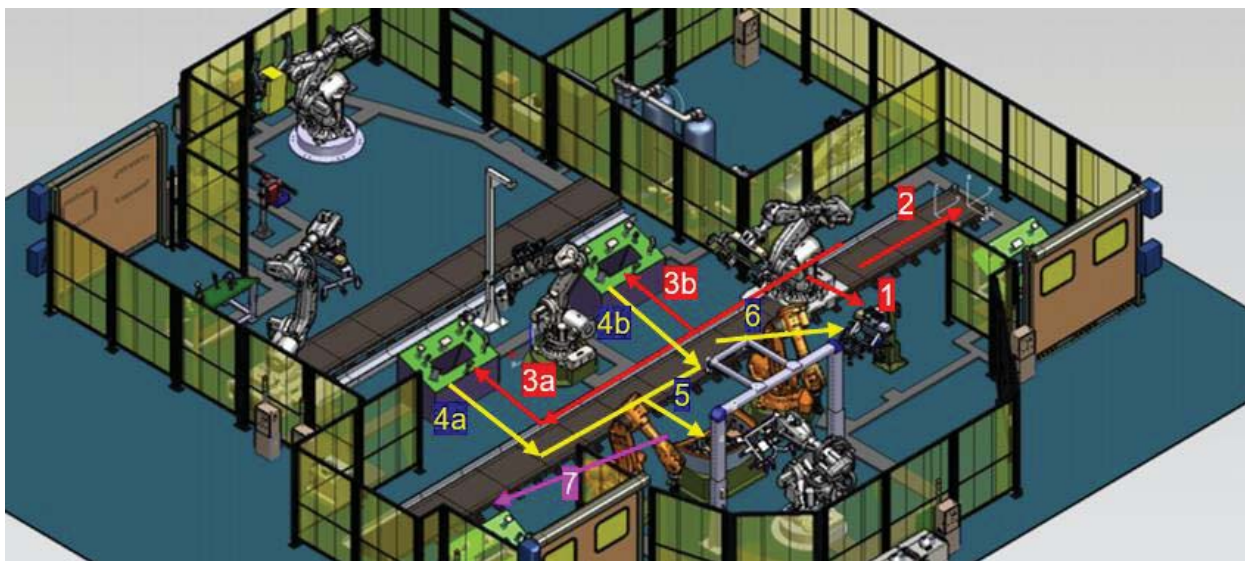


Fig. 4. Modul de funcționare al robotului R3

Robotul R1 are următoarele secvențe de funcționare: 0 – Evaluează cu ajutorul senzorilor S14 și/sau S16 și a programului intern a robotului R4 dacă este necesară o dublură de capotă peste un panou cu mastic.; 1 – Dacă S14 și/sau S16 au valoare FALSE, iar robotul R4 a terminat depunerea de mastic fie în masa 1, fie în masa 2, atunci când evaluează cu ajutorul senzorului S18 dacă există o dublură de capotă pe masa de intrare. Dacă valoarea S18 este TRUE și S20 este tot TRUE și S17 este FALSE; atunci robotul R3, preia dublura de capotă.; 2 – Dacă S17 este TRUE (prezență dublură de capotă în prehensor), se deplasează către zona pentru sudură și transmite semnal de început pentru robotul R2.; 3 – Dacă primește semnal TRUE după terminarea operației de sudură de către robotul R2, robotul R1 se deplasează fie în 3a, fie în 3b, pentru depunerea dublurii de capotă, apoi operația se resetează. Secvențele de funcționare ale robotului R1 se pot observa în figura 5.

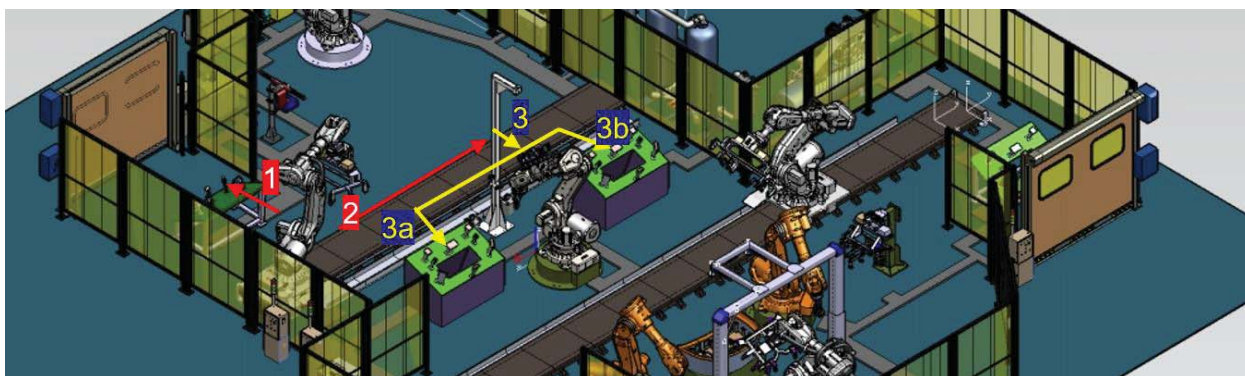


Fig. 5. Modul de funcționare al robotului R1

Robotul R4, evaluează pe baza senzorilor S13 și/sau S15 (TRUE), dacă există un panou în mesele de mastic 1 sau 2. Dacă există analizează cu ajutorul senzorilor S14 și/sau S16 (FALSE) să nu existe și dublura. Dacă nu există dublura, atunci evaluează pe baza procedurii interne de execuție a programului, dacă a masticat pe vreuna dintre mese. Dacă panourile sunt gata pentru masticat (simultan), atunci efectează traiectoria -1-, apoi traiectoria -2-. După terminarea operației de mastic, transmite semnal către robotul R1 și către R3. În figura 6 se pot observa traiectoriile de mișcare ale robotului R4.

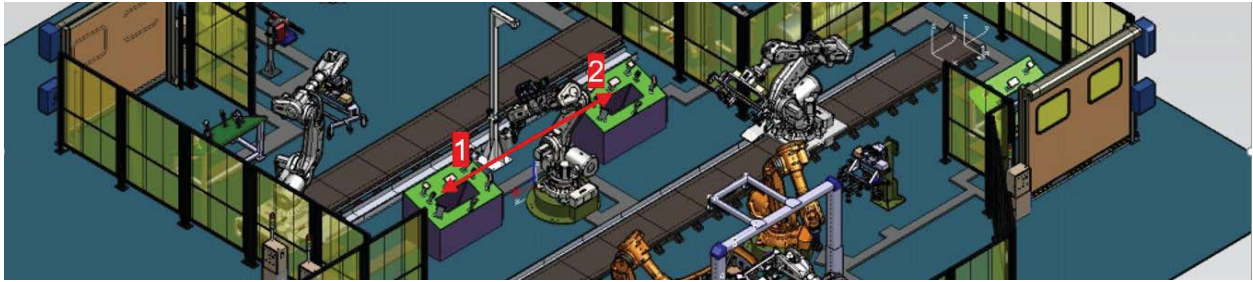


Fig. 6. Modul de funcționare al robotului R4

De asemenea, funcționarea roboților R5, RS1 și RS2 este următoarea: Dacă robotul R3 a depus o capotă pe matrița de sertizare, senzorul S10 primește valoarea TRUE. Robotul R5 utilizând analiza grafică a camerelor vision S9 și S10, așează sistemul presor pe capotă, astfel semnalul S6 devine TRUE, iar semnalul S7 devine FALSE (deconectare a efectorului), robotul deplasându-se în poziția HOME. La devenirea semnalului S6 TRUE și a S10 TRUE, Roboții RS1 și RS2, încep procedeul de sertizare. La finalizare, roboții se retrag în poziția HOME și transmit semnal către robotul R5 că poate prelua sistemul presor. Când acesta a fost preluat, semnalul S6 devine FALSE, iar S7 devine TRUE. În acest moment robotul R5, transmite semnal către robotul R3, că poate prelua capota și așeza alta.

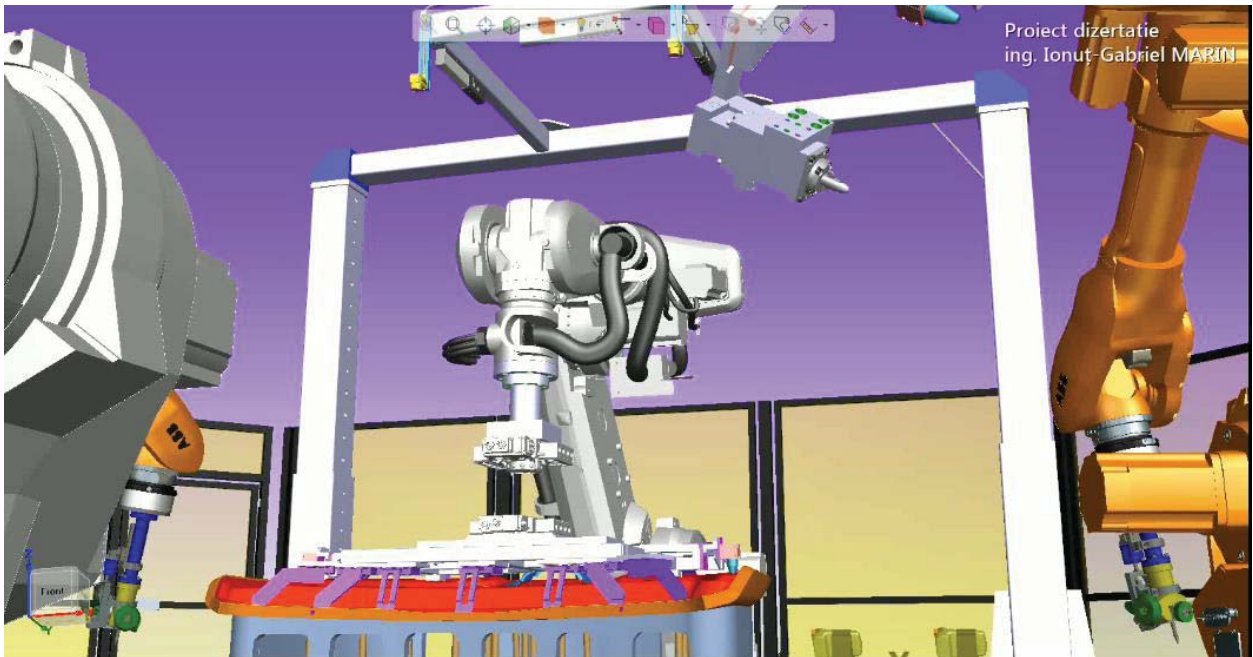


Fig. 7. Modul de decuplare a sistemului presor de către robotul R5

După elaborarea schemei de funcționare a celei robotizate a fost necesar ca în mediul de simulare și programare off-line să atribui fiecărei resurse (component) senzorii și semnalele necesare funcționării. Astfel pentru a evita enumerarea cu greșeli a semnalelor, am extras din software-ul Tecnomatix Process Simulate, un tabel-raport care conține enumerarea tuturor semnalelor prezente. Enumerarea acestora, cât și tipul se pot vedea parțial în tabelul 1.

Tabelul 1. Enumerarea semnalelor utilizate în celulă

Signal Name	Memory	Type	Resource
Start_application_end	FALSE	BOOL	
Start_dublura_end	FALSE	BOOL	
Dublura_in_end	FALSE	BOOL	

Terminare_2_dubluri_end	FALSE	BOOL	
Start_application_robot_R1_end	FALSE	BOOL	
R1_ON_IN_Dublura_end	FALSE	BOOL	
Start_panou_end	FALSE	BOOL	
Panou_in_end	FALSE	BOOL	
COGNEX_VISION_CAMERA	FALSE	BOOL	COGNEX_VISION_CAMERA
COGNEX_VISION_CAMERA_1	FALSE	BOOL	COGNEX_VISION_CAMERA_1
gate_2_from_CLOSE_to_OPEN_end	FALSE	BOOL	gate_2
gate_2_from_OPEN_to_CLOSE_end	FALSE	BOOL	gate_2
gate_2_at_OPEN	FALSE	BOOL	gate_2
gate_2_at_CLOSE	FALSE	BOOL	gate_2
gate_3_from_CLOSE_to_OPEN_end	FALSE	BOOL	gate_3
gate_3_from_OPEN_to_CLOSE_end	FALSE	BOOL	gate_3
gate_3_to_OPEN	FALSE	BOOL	gate_3
gate_3_to_CLOSE	FALSE	BOOL	gate_3
gate_3_at_OPEN	FALSE	BOOL	gate_3
gate_3_at_CLOSE	FALSE	BOOL	gate_3
gate1_from_CLOSE_to_OPEN_end	FALSE	BOOL	gate1
gate1_from_OPEN_to_CLOSE_end	FALSE	BOOL	gate1
gate1_at_OPEN	FALSE	BOOL	gate1
gate1_at_CLOSE	FALSE	BOOL	gate1
F3SG_4RA1680_14	FALSE	BOOL	Gate1_F3SG_4RA1680_0A
F3SG_4RA1680_14_1	FALSE	BOOL	Gate2_F3SG_4RA1680_0B
F3SG_4RA1680_14_1_1	FALSE	BOOL	Gate3_F3SG_4RA1680_14_0C
Min1_senzor_bariera_1	FALSE	BOOL	Mie_senzor_bariera (S11)
Mie_senzor_detectie	FALSE	BOOL	Mie_senzor_detectie (S12)
Min1_senzor_bariera	FALSE	BOOL	Min1_senzor_bariera (S20)
Min1_senzor_detectie_dublura	FALSE	BOOL	Min1_senzor_detectie_dublura (S18)
Min1_senzor_bariera_1_1	FALSE	BOOL	Min2_senzor_bariera (S1)
Min2_senzor_detectie_panou	FALSE	BOOL	Min2_senzor_detectie_panou (S2)
MMS1_senzor_detectie_dublura	FALSE	BOOL	MMS1_senzor_detectie_dublura (S14)
MMS1_senzor_detectie_panou	FALSE	BOOL	MMS1_senzor_detectie_panou (S13)
MMS2_senzor_detectie_dublura	FALSE	BOOL	MMS2_senzor_detectie_dublura (S16)
MMS2_senzor_detectie_panou	FALSE	BOOL	MMS2_senzor_detectie_panou (S15)
R1_go_to_entry_end	FALSE	BOOL	r1
R1_get_dublura_end	FALSE	BOOL	r1
R1_go_to_weld_position_end	FALSE	BOOL	r1
R1_place_masa_1_end	FALSE	BOOL	r1
R1_place_masa_2_end	FALSE	BOOL	r1
R1_go_to_entry_start	FALSE	BOOL	r1
R1_get_dublura_start	FALSE	BOOL	r1
R1_go_to_weld_position_start	FALSE	BOOL	r1
R1_place_masa_1_start	FALSE	BOOL	r1
R1_place_masa_2_start	FALSE	BOOL	r1
R2_weld_operation_end	FALSE	BOOL	r2
R3_GO_TO_TOOLCHANGER_for_efector_1_end	FALSE	BOOL	r3
R3_DROP_EFECTOR_CAPOTA_end	FALSE	BOOL	r3
R3_GET_EFECTOR_PANOU_end	FALSE	BOOL	r3

R3_get_panel_from_entry_end	FALSE	BOOL	r3
R3_go_to_masa_2_end	FALSE	BOOL	r3
r3_go_to_turntable_end_1	FALSE	BOOL	r3

Semnalele neprezentate în tabelul 1, sunt semnale interne care aparțin de blocul logic de decizie al fiecărei resurse, în general roboți. Același tabel este prezentat și sub formă de capturi de ecran direct din software în figura 8.

Signal Name	Memory	Type	Address	IEC Format	PLC Connection	External Connection	Resource
Start_application_end		BOOL	No Address	No Address			
Start_dublura_end		BOOL	No Address	No Address			
Dublura_in_end		BOOL	No Address	No Address			
Terminare_2_dubluri_end		BOOL	No Address	No Address			
Start_application_robot_R1_end		BOOL	No Address	No Address			
R1_ON_IN_Dublura_end		BOOL	No Address	No Address			
Start_panou_end		BOOL	No Address	No Address			
Panou_in_end		BOOL	No Address	No Address			
rs1_hem_0deg_end_1_1		BOOL	No Address	No Address			
rs1_hem_0deg_end_1		BOOL	No Address	No Address			
rs1_hem_0deg_end		BOOL	No Address	No Address			
rs1_hem_0deg_end_1_1		BOOL	No Address	No Address			
rs1_hem_0deg_end_1		BOOL	No Address	No Address			
rs2_hem_0deg_end		BOOL	No Address	No Address			
Terminare_2_capote_end		BOOL	No Address	No Address			
R3_TO_R1_start_application_end		BOOL	No Address	No Address			
R3_to_R1_in_dublura_end		BOOL	No Address	No Address			
OUT		BOOL	No Address	No Address			
Min1_part_detection		BOOL	No Address	No Address			
in_dublura		BOOL	No Address	No Address			
START		BOOL	No Address	No Address			
Start_robot_R1		BOOL	No Address	No Address			
stop_Toolchanger		BOOL	No Address	No Address			
Terminare_sudura		BOOL	No Address	No Address			
efector_capota_conectat		BOOL	No Address	No Address			
efector_panou_conectat		BOOL	No Address	No Address			
drop_capota_la_saliera		BOOL	No Address	No Address			
start_sertizare		BOOL	No Address	No Address			
terminare_sertizare		BOOL	No Address	No Address			
drop_final		BOOL	No Address	No Address			
eliberare_mese_mastic		BOOL	No Address	No Address			
COGNEX_VISION_CAMERA		BOOL	No Address	No Address			COGNEX_VISION_CAMERA
COGNEX_VISION_CAMERA_1		BOOL	No Address	No Address			COGNEX_VISION_CAMERA_1
gate_2_from_CLOSE_to_OPEN_end		BOOL	No Address	No Address			gate_2
gate_2_from_OPEN_to_CLOSE_end		BOOL	No Address	No Address			gate_2
gate_2_at_OPEN		BOOL	No Address	No Address			gate_2
gate_2_at_CLOSE		BOOL	No Address	No Address			gate_2
gate_3_from_CLOSE_to_OPEN_end		BOOL	No Address	No Address			gate_3
gate_3_from_OPEN_to_CLOSE_end		BOOL	No Address	No Address			gate_3
gate_3_to_OPEN		BOOL	No Address	No Address			gate_3
gate_3_to_CLOSE		BOOL	No Address	No Address			gate_3
gate_3_at_OPEN		BOOL	No Address	No Address			gate_3
gate_3_at_CLOSE		BOOL	No Address	No Address			gate_3
gate1_from_CLOSE_to_OPEN_end		BOOL	No Address	No Address			gate1
gate1_from_OPEN_to_CLOSE_end		BOOL	No Address	No Address			gate1

Fig. 8. Prezentarea semnalelor din Process Simulate

Din această interfață grafică se pot conecta semnalele direct la un PLC, utilizând soft-ul TIA Portal. De asemenea, în lipsa unui PLC fizic și a soft-ului TIA Portal, semnalele pot fi comandate utilizând o altă interfață grafică denumită *Simulation Panel*.

În spate, toate aceste semnale fac parte dintr-un PLC virtual, în care se pot defini reguli de funcționare. Totodată, există câteva blocuri logice de decizie, care nu fac altceva decât să lege semnalele între ele, definind reguli de tip *IF*, *CASE* ș.a.m.d.

Pe lângă toate aceste elemente, există câteva momente critice în care aplicația se poate întrerupe, datorită pătrunderii operatorilor umani în celulă pentru mentenanță sau din alte motive obiective. Pe lângă cheile cu cartele de siguranță care permit accesul, celula dispune de câteva elemente de siguranță active, după cum urmează: - Senzorii S1, S11, S20 de tip barieră luminoasă care atunci când operatorul uman intră în zona de așezare/preluare a componentelor capotei, iau valoarea FALSE și nu permit roboților R1 și R3 să ajungă în acea locație, astfel neputând să lezeze în vreun fel operatorii. În cazul în care roboții se află în zona meselor, ușile de acces nu pot fi deschise.; -Senzorii S21 și S22, pentru accesul personalului de mentenanță în celule, care la deschiderea ușilor de acces (iau valoarea FALSE), întrerup toate operațiile desfășurate în toată celula.;-Senzorul S23, pentru accesul mentenanței în zona grupurilor pneumatice/hidraulice, care la deschidere (ia valoarea FALSE), întrerupe operația de mastic și se preluare/depunere elemente ale capotei, cât și operația de sertizare.

De asemenea, echipamentele de tip prehensor și sisteme de cuplare-decuplare automată, nu se pot desprinde fără acțiunea aerului comprimat. Acestea sunt prinse mecanic, iar în cazul întreruperii aerului comprimat, se emit semnale de avertizare și nu se pot decupla.

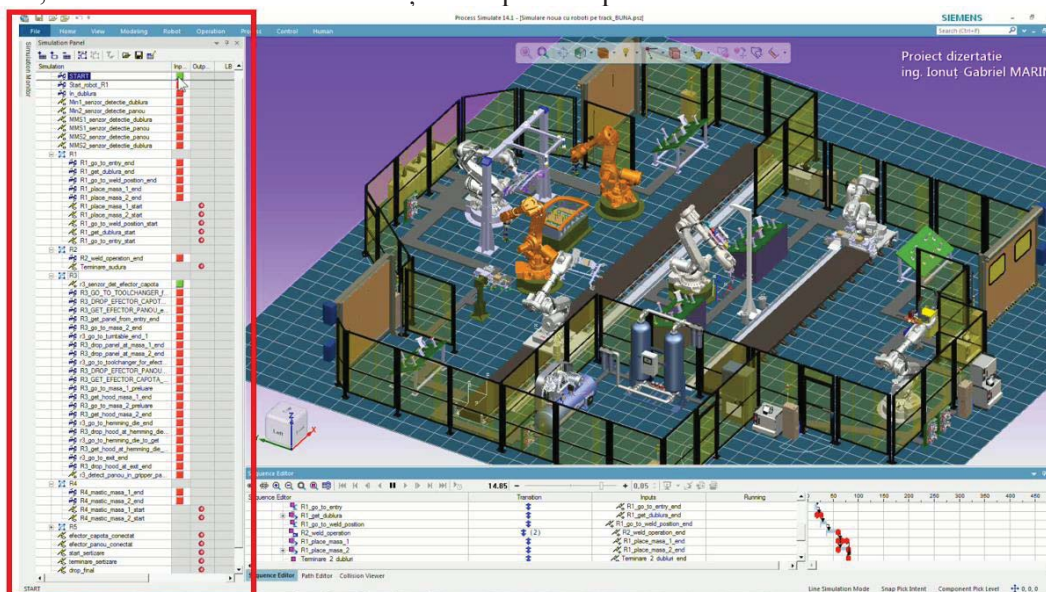


Fig. 9. Exemplificarea interfeței grafice *Simulation Panel* în *Process Simulate*

3. Concluzii

Așadar, aplicația a fost realizată treptat, fiind efectuate schimbări pe tot parcursul dezvoltării. Analiza virtuală a unei astfel de celule robotizate poate fi foarte benefică pentru o companie orientată către așa ceva, deoarece costurile sunt mult diminuate deoarece este posibil să fie eliminată etapa de prototipare fizică, în care este necesar să creăm utilaje apoi să le rectificăm.

Totodată, utilizarea unui mediu de simulare și programare off-line are avantaje, în sensul în care programul de funcționare al unui robot poate fi descărcat pe o memorie USB și urcat direct în controller-ul robotului, cât timp elementele din mediul virtual sunt comparabile în proporție de minim 95% cu realitatea și nu există motive de îngrijorare privind posibile coliziuni.

Funcționarea celulei robotizate s-a dovedit a fi una corectă și destul de optim realizată la nivel de flux tehnologic de fabricație. Prin astfel de aplicații se poate face trecerea către IoT (Internet of Things), fiind utilizat cu precădere mediul virtual.

4. Bibliografie

[1].Evidențierea produsului software Tecnomatix Process Simulate. Ultima dată de accesare a link-ului:28.04.2020.

Link web: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/tecnomatix/>

[2]. Tipurile de senzori de proximitate OMRON. Ultima dată de accesare a link-ului: 28.04.2020.

Link web: <http://www.ia.omron.com/products/category/sensors/proximity-sensors/>

[3]. Tipuri de camere vision COGNEX. Ultima dată de accesare a link-ului: 28.04.2020.

Link web: <https://www.cognex.com/products/machine-vision/2d-machine-vision-systems>