Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA Bucureşti

Ing. Alexandru N. ANDREI

REZUMATUL

TEZEI DE DOCTORAT

APLICABILITATEA CONCEPTELOR DE PUNERE ÎN FUNCȚIUNE VIRTUALĂ A ROBOȚILOR INDUSTRIALI CA SOLUȚIE PENTRU PROBLEMELE DE COMPATIBILITATE DINTRE SIMULAREA VIRTUALĂ ȘI SOFTWARE-UL DE CONTROL LOGIC

COMISIA DE SUSȚINERE PUBLICĂ

Decizia CSUD POLITEHNICA București nr. 410 din 0.02.2026

Președinte	Prof.univ.dr.ing. Diana POPESCU	Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA Bucureşti
Conducător științific	Prof.univ.dr.ing. Cristina PUPĂZĂ	Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA Bucureşti
Referent	Prof.univ.dr.ing. Sever-Gabriel RACZ	Universitatea „Lucian Blaga” din Sibiu
Referent	Prof.univ.dr.ing. Nicu George BÎZDOACĂ	Universitatea din Craiova
Referent	Prof.univ.dr.ing. Cătalin-Gheorghe AMZA	Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA Bucureşti

- 2026 -

CUPRINS

Partea I. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR ÎN DOMENIUL PUNERII VIRTUALE ÎN FUNCȚIUNE

Capitolul 1. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR ÎN DOMENIUL PUNERII VIRTUALE ÎN FUNCȚIUNE - Sinteză

1.1 Sinteza studiului literaturii de specialitate……. 5

1.2 Motivația și scopul cercetărilor ……... 5

1.3 Obiectivele tezei de doctorat ……... 6

1.4 Planificarea etapelor de cercetare ……... 9

Capitolul 2. FUNDAMENTE TEHNICE ȘI PROCEDURALE PENTRU IMPLEMENTAREA PUNERII VIRTUALE ÎN FUNCȚIUNE

2.1 Introducere. Importanța cercetării pentru punerea virtuală în funcțiune a celulelor robotizate ….. 11

2.2 Categorii de componente hardware și software utilizate pentru controlul master al celulelor robotizate la punerea virtuală în funcțiune …… 11

2.3 Principalele etape și metodele utilizate în industrie pentru controlul celulelor robotizate. Logica de control secvențial și programarea Ladder …… 12

2.4 Concluzii privind necesitatea cercetării pentru punerea virtuală în funcțiune…… 12

Partea a II-a. CONTRIBUȚII PRIVIND APLICAREA CONCEPTELOR DE PUNERE VIRTUALĂ ÎN FUNCȚIUNE

Capitolul 3. CONTRIBUȚII METODOLOGICE PRIVIND APLICAREA CONCEPTELOR DE PUNERE VIRTUALĂ ÎN FUNCȚIUNE A UNEI CELULE ROBOTIZATE

3.1 Studiu de caz privind prototipul virtual al unei aplicații robotizate de asamblare și manipulare ... 14

3.2 Metodologia, concepția mecanică și modelarea 3D a celulei robotizate și a elementelor componente ……... 15

3.3 Metodologia de realizare concepției arhitecturii de control a celulei robotizate …… 16

3.4 Achiziția, prelucrarea și gestionarea semnalelor ……. 20
3.5 Concluzii ……..... 25

Capitolul 4. CONTRIBUȚII TEORETICE PRIVIND APLICAREA CONCEPTELOR DE PUNERE VIRTUALĂ ÎN FUNCȚIUNE ÎN MEDIILE DE LUCRU Simatic Robot Integrator - SIEMENS MCD ȘI Simatic Robot Integrator CU MEDII DE SIMUARE ȘI PROGRAMARE EXTERNE SIEMENS

4.1 Introducere ……..... 26
4.2 Concepția și implementarea virtuală a teach-pendantului de control pentru Simatic Robot Integrator prin parametrizarea modelului grafic sub formă de ecran din Interfața HMI ……..... 26
4.3 Stabilirea comunicației. ……. …… … 28
4.4 Exportul semnalelor din Tia Portal și importul în MCD. Limitarea în Interfața utilizator a schimbului de semnale …….. 30
4.5 Configurarea simulatorului avansat din Tia Portal și a semnalelor externe în Siemens MCD. Stabilirea legăturilor (Handshake) între semnalele preluate din PLCSIM Adanced și cele generate de Siemens MCD …….. 31
4.6 Verificarea și testarea integrării Simatic Robot Integrator cu medii alternative de punere virtuală în funcțiune ……..... 32
4.7 Concluzii ……..... 33

Capitolul 5. CONTRIBUȚII PRACTICE PRIVIND APLICAREA CONCEPTELOR DE PUNERE ÎN FUNCȚIUNE VIRTUALĂ ÎN MEDIILE DE LUCRU TIA Portal ȘI ABB RobotStudio PRIN OPC SERVER

5.1 Introducere …….. 35
5.2 Configurarea și parametrizarea Tia Portal în scopul stabilirii compatibilității cu OPC server ….. 36
5.3 Conceperea și testarea unei punți de conectare folosind instrumente și programe asociate platformelor de lucru ……. 37
5.4 Configurarea și parametrizarea ABB RobotStudio pentru realizarea compatibilității cu OPC Server. Configurarea controllerului virtual…… 38
5.5 Testarea și supravegherea semnalelor trimise între RobotStudio și Tia Portal…… 38
5.6 Concluzii ……. 39

Capitolul 6. PUNEREA VIRTUALĂ ÎN FUNCȚIUNE A ROBOȚILOR COLABORATIVI. INTEGRAREA BLOCKCHAIN

6.1 Introducere …….. 41
6.2 EcoStruxure Cobot and Machine Expert …… 41
6.3 Tehnologia blockchain în robotica industrială ……..…….. 42
6.4 Propunerea privind strategia implementării …… 43
6.5 Concluzii …… 44

Capitolul 7. CONCLUZII FINALE, CONTRIBUȚII ORIGINALE, DISEMINAREA REZULTATELOR CERCETĂRILOR ȘI DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

7.1 Concluzii finale ……... 46
7.2 Contribuții originale …… 50
7.3 Diseminarea rezultatelor cercetărilor. Articole publicate și/sau prezentate în conferințe internaționale ……. 53
7.4 Direcții viitoare de cercetare ……... 54
Bibliografie …….. 55

Capitolul 1. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR ÎN DOMENIUL PUNERII VIRTUALE ÎN FUNCȚIUNE - Sinteză

1.1 Sinteza studiului literaturii de specialitate

A fost realizată o analiză critică a literaturii de specialitate privind punerea virtuală în funcțiune a roboților industriali, focalizându-se asupra aspectelor esențiale care influențează eficiența și aplicabilitatea acestei noi tehnologii. În particular, se evidențiază problematica diversității limbajelor de programare utilizate în industria robotică, care generează bariere semnificative în standardizarea proceselor de control și simulare. În acest context, platformele precum SIEMENS Simatic Robot Integrator și ABB RobotStudio 10 sunt analizate ca soluții avansate pentru unificarea mediilor de programare și control, facilitând interoperabilitatea și sincronizarea între mediile de simulare și cele de control logic. Totuși, se subliniază limitele compatibilității dintre aceste medii, evidențiind necesitatea unor metode și arhitecturi noi care să permită o integrare mai eficientă și flexibilă.

Prima parte a tezei are ca obiectiv identificarea progreselor semnificative în domeniul punerii virtuale în funcțiune (VC), dar și a lacunelor existente, care justifică continuarea și aprofundarea studiilor în domeniu. Pe baza acestei analize, se conturează motivația cercetării prezentate în Teză, care urmărește să abordeze dezvoltarea unor soluții noi pentru punerea virtuală în funcțiune a celulelor robotizate pentru a optimiza interoperabilitatea între platformele software și elaborarea unor metodologii integrate pentru sincronizarea simulării virtuale cu logica de control industrial.

Etapele de cercetare ale Tezei sunt structurate astfel încât să asigure o abordare sistematică, pornind de la analiza preliminară și studiul comparativ al platformelor, continuând cu dezvoltarea și testarea soluțiilor propuse și culminând cu validarea experimentală și diseminarea rezultatelor în cadrul comunității științifice și industriale.

In realizarea stadiul actual al cercetarilor au fost selectate 63 de referinte bibliografice din peste 135 analizate.

1.2 Motivația și scopul cercetărilor

Scopul acestei Teze de doctorat este de a cerceta potențialele capacități de comunicație între ABB RobotStudio[A01] și Siemens Simatic Robot Integrator și de a unifica sistemele de control pentru efectuarea sarcinilor de punere în funcțiune virtuală (VC) [A02]. Soluția trebuie să ofere proceduri valoroase și generale pentru orice utilizator final responsabil de implementarea sarcinilor de punere în funcțiune virtuală a celulelor robotizate și să asigure compatibilitatea dintre componentele hardware și software de la producătorii ABB și Siemens[A03] integrate în orice tip de celulă robotizată. Acestă Teză va fi axată pe dezvoltarea unei soluții software hibride[A04], care să se bazeze pe suita ABB RobotStudio, deoarece chiar și în cea mai recentă versiune, RobotStudio 10 nu are un modul dedicat pentru punere în funcțiune virtuală.

1.3 Obiectivele tezei de doctorat

Din sinteza realizată în Partea I a Tezei de doctorat putem rezuma următoarele idei:

- Principalele categorii de aplicații în care robotul va fi analizat și poate fi integrat sunt aplicații de asamblare/montaj, pick and place sau paletizare.
- Aplicațiile robotizate vizate pentru studiile care se vor realiza sunt: manipulare, asamblare-montaj, inspecție, control dimensional și prelucrări cu scule cu antrenare proprie.
- Principalele medii de lucru asupra cărora se va interveni pentru crearea comunicației în scopul realizării VC sunt Simatic Robot Integrator și TIA Portal.

În Figura 1.1 este reprezentată Schema bloc pentru metodologia originală propusă în Teza de doctorat privind comunicația dintre platformele software.

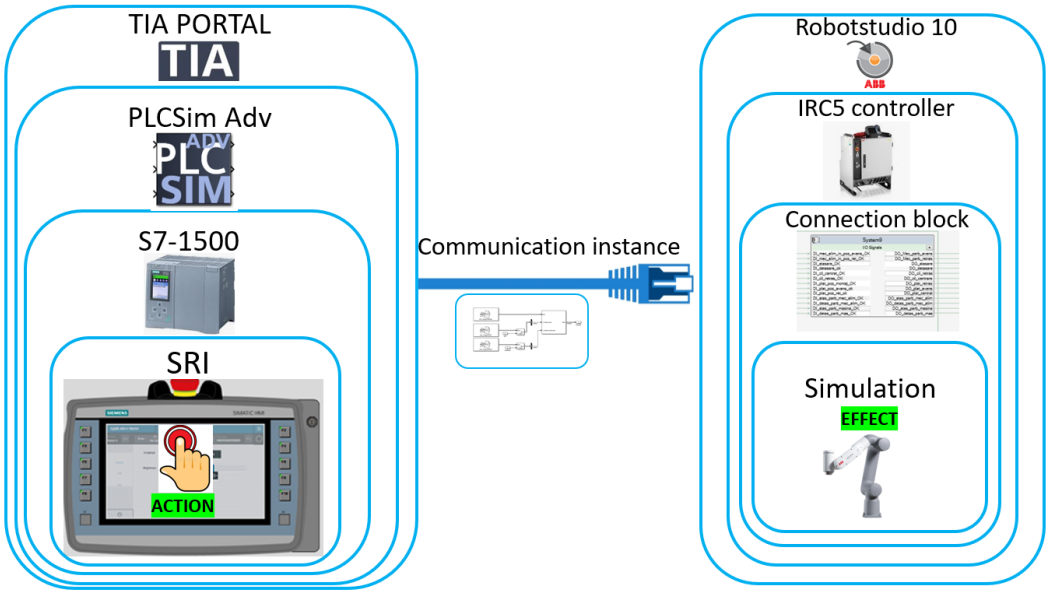


Fig. 1.1 Schema bloc a metodologiei propuse în Teza de doctorat

Tabelul 1.1 Obiectivele Majore

OBIECTIVELE MAJORE ALE TEZEI DE DOCTORAT
OM1. Analiza și sinteza stadiului actual al cercetărilor pentru VC.
OM2. Stabilirea funcționalităților importante ale programele actuale care vor fi folosite în Teză
OM3. Identificarea lacunelor din cercetările actuale și a problemelor nerezolvate în domeniul punerii virtuale în funcțiune (VC).

OM4. Conceptul virtual al controlului prin intermediul unui dispozitiv de teach-pendant pentru simularea roboților în SRI prin parametrizarea modelului grafic sub forma unui ecran din interfața HMI

OM5. Stabilirea comunicației și parametrizarea în Simatic Robot Integrator a codului de control din TIA Portal cu modelele CAD simulate în Siemens MCD

OM6. Testarea și verificarea integrării SRI cu medii de punere virtuală în funcțiune care nu sunt compatibile cu Siemens

OM7. Conceperea și testarea unei punți de conexiune cu ajutorul unor instrumente externe pentru a realiza o comunicație suplimentară între ABB RobotStudio și SRI.

OM8. Concluzii și observații cheie.

OBIECTIVELE SPECIFICE ALE TEZEI DE DOCTORAT

Tabelul 1.2 Obiective specifice pentru OM1

OM1. Analiza și sinteza stadiului actual al cercetărilor pentru punerea virtuală în funcțiune (VC)
OS1.1 Cercetări privind amploarea și importanța realizării punerii virtuale în funcțiune în procesele de producție OS1.2 Sinteza stadiului actual al cercetărilor în domeniul punerii virtuale în funcțiune OS1.3 Sinteză privind programele dedicate care se recomandă la punerea virtuală în funcțiune

Tabelul 1.3 Obiective specifice pentru OM2

OM2 - Stabilirea funcționalităților importante din programele actuale care vor fi folosite în Teză
OS2.1 Selectarea modelului de robot pentru care se realizează punerea virtuală în funcțiune (VC) OS2.2 Stabilirea aplicațiilor software în concordanță cu aplicațiile identificate în obiectivul specific OS1.3 OS2.3 Selectarea aplicațiilor software pentru care se realizează comunicația pentru VC

Tabelul 1.4 Obiective specifice pentru OM3

OM3 - Identificarea lacunelor din cercetările actuale și a problemelor nerezolvate în domeniul punerii virtuale în funcțiune (VC)
OS3.1 Selectarea principalelor publicații din industrie care trateaza limitările VC OS3.2 Stabilirea metodologiei de abordare a aplicării conceptului de VC

Tabelul 1.5 Obiective specifice pentru OM4

OM4 – Conceptul virtual al controlului prin intermediul unui dispozitiv de teach-pendant pentru simularea roboților în SRI prin parametrizarea modelului grafic sub forma unui ecran din interfața HMI
OS4.1 Selectarea tipurilor de roboți disponibili în bibliotecile Simatic Robot Integrator OS4.2 Implementarea ecranelor HMI pentru a înlocui interfața de control fizic a integratorului de roboți Simatic

Tabelul 1.6 Obiective specifice pentru OM5

OM5 - Stabilirea comunicației și parametrizarea în Simatic Robot Integrator a codului de control din TIA Portal cu modelele CAD simulate în Siemens MCD
OS5.1 Exporturile de semnale din TIA Portal și importul în MCD și indicarea limitărilor în interfața cu utilizatorul a importurilor de semnale OS5.2 Stabilirea de legături (Handshake) între semnalele preluate de la PLCSim Advanced și semnalele generate de MCD OS5.3 Configurarea și parametrizarea TIA Portal cu scopul de a stabili compatibilitatea cu serverul OPC OS5.4 Proiectarea unei punți de conexiune cu ajutorul unor instrumente externe pentru a realiza comunicația între RobotStudio și Simatic Robot Integrator

Tabelul 1.7 Obiective specifice pentru OM6

OM6 - Testarea și verificarea integrării SRI cu medii de punere virtuală în funcțiune care nu sunt compatibile cu Siemens
OS 6.1 Verificarea și testarea integrării SRI cu Factory IO

Tabelul 1.8 Obiective specifice pentru OM7

OM7 - Conceperea și testarea unei punți de conexiune cu ajutorul unor instrumente externe pentru a realiza o comunicație suplimentară între ABB

RobotStudio și Simatic Robot Integrator
OS7.1 Testarea unei punți de conexiune cu ajutorul unor instrumente externe pentru a realiza comunicația între RobotStudio și Simatic Robot Integrator
OS7.2 Configurarea și parametrizarea ABB RobotStudio cu scopul de a stabili compatibilitatea cu serverul OPC
OS7.3 Parametrizarea și configurarea blocurilor adaptorului de intrare și ieșire RSconnect
OS7.4 Stabilirea comunicației dintre TIA Portal și RobotStudio prin intermediul blocurilor de comunicație din RobotStudio

1.4 Planificarea etapelor de cercetare

În linii mari, strategia de cercetare vizează parcurgerea succesivă a unor etape principale de cercetare teoretică, metodologică, de simulare-implementare și aplicativ - experimentală, după cum urmează:

- Analiza critică a literaturii de specialitate și a rezultatelor recente privind punerea virtuală în funcțiune, cu accent pe identificarea direcțiilor de dezvoltare și a soluțiilor propuse pentru optimizarea procesului de VC.
- Definirea parametrilor de analiză și evaluare necesari pentru investigarea aplicabilității conceptelor de punere virtuală în funcțiune în contextul celulelor robotizate industriale.
- Elaborarea și implementarea unui studiu de caz menit să evidențieze limitările actuale ale punerii virtuale în funcțiune și să contureze punctele critice ale metodologiei de aplicare.
- Dezvoltarea unui model virtual de control prin intermediul dispozitivului teach-pendant, destinat simulării roboților în cadrul mediului SRI, prin parametrizarea modelului grafic și integrarea acestuia într-o interfață HMI.
- Stabilirea mecanismelor de comunicație și parametrizare în cadrul Simatic Robot Integrator, vizând integrarea codului de control generat în TIA Portal cu modelele CAD simulate în Siemens Mechatronic Concept Designer (MCD).
- Testarea și validarea integrării mediului SRI cu alte platforme de punere virtuală în funcțiune din afara ecosistemului Siemens, în scopul evidențierii limitelor tehnice existente.
- Conceperea și experimentarea unui mecanism de interconectare, utilizând instrumente software externe, pentru a asigura o comunicație suplimentară între ABB RobotStudio și Simatic Robot Integrator.
- Formularea concluziilor și a recomandărilor științifico-aplicative în urma cercetărilor experimentale, teoretice și metodologice, cu accent pe rezolvările propuse pentru îmbunătățirea procesului de punere virtuală în funcțiune.
- Elaborarea unui model matematic de conversie a structurilor de programare SFC (Sequential Function Chart) în logică de tip Ladder Diagram, în vederea uniformizării și optimizării proceselor de programare a roboților industriali.

- Explorarea unor soluții de punere virtuală în funcțiune a roboților colaborativi, incluzând mecanisme de supraveghere și trasabilitate bazate pe tehnologia Blockchain, cu scopul de a asigura transparența și securitatea proceselor.

Logica de corelare a planificării etapelor de cercetare cu atingerea obiectivelor majore și specifice stabilite în cadrul Tezei de doctorat este prezentată în Fig. 1.2.

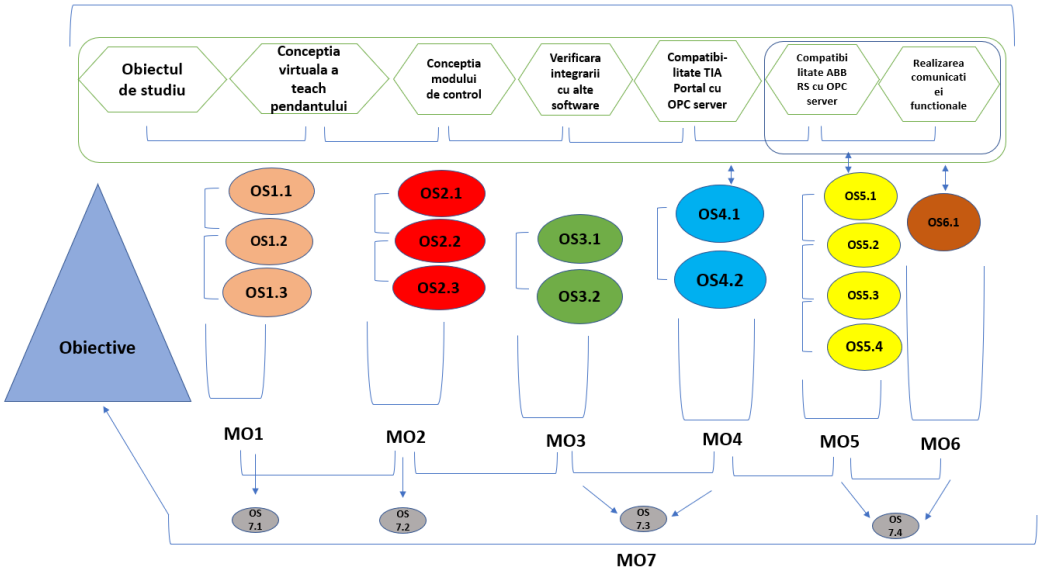


Fig. 1.2 Planificarea etapelor de cercetare și legătura cu obiectivele majore și cele specifice ale Tezei de doctorat

Capitolul 2. FUNDAMENTE TEHNICE ȘI PROCEDURALE PENTRU IMPLEMENTAREA PUNERII VIRTUALE ÎN FUNCȚIUNE

2.1 Introducere. Importanța cercetării pentru punerea virtuală în funcțiune a celulelor robotizate

Acest capitol oferă cadrul introductiv pentru înțelegerea punerii virtuale în funcțiune (VC) prezentând evoluția conceptului și fundamentele teoretice și tehnice. Sunt analizate etapele dezvoltării sistemelor industriale automatizate, cu accent pe logica de control secvențial, programarea ladder și integrarea hardware/software în celulele robotizate. VC permite testarea software-ului de control pe un model virtual înainte de conectarea la sistemul real, reducând riscurile și durata fazelor de punere în funcțiune, precum și erorile software, care determină până la 70% din întârzieri. Conceptul VC necesită modele digitale precise, iar provocările istorice au fost crearea modelelor și integrarea lor cu PLC-urile. Sunt identificate patru strategii principale de punere în funcțiune: tradițională, soft/HIL, realitate-în-buclă și virtuală. Deși inițial costisitoare, VC a demonstrat reducerea timpului de punere în funcțiune cu până la 75% [B20] și este acum susținută de tehnologii moderne, precum gemenii digitali.

Avantajele VC includ testarea paralelă a software-ului, prevenirea erorilor, creșterea siguranței operatorilor și reducerea riscului de deteriorare a utilajelor. VC se desfășoară în trei etape: modelarea digitală, rularea software-ului în simulare și analiza rezultatelor. Extensii moderne includ punerea în funcțiune hibridă și metode automate de generare a modelelor din date CAD, integrând VC în întregul proces de dezvoltare a produsului.

2.2 Categorii de componente hardware și software utilizate pentru controlul master al celulelor robotizate la punerea virtuală în funcțiune

În proiectarea echipamentelor industriale este esențială înțelegerea interacțiunii dintre dinamica sistemului și algoritmii de control, iar testarea riguroasă este necesară pentru siguranța operațională. Punerea în funcțiune virtuală (VC) folosind gemeni digitali (DT) permite simularea fidelă a interacțiunilor între subsisteme (mecanic, hidraulic, electric) și evaluarea impactului codului de control, reducând riscurile pentru operatori și echipamente [B21]. Instrumente precum MapleSim, Rockwell sprijină integrarea gemenilor digitali, oferind o vizualizare 3D și o analiză în timp real.

Clasificarea comunicațiilor industriale pentru VC include protocoale tradiționale Fieldbus, precum Profibus DP [B22] și DeviceNet, utilizate mai ales pentru integrarea echipamentelor vechi. Protocoalele Ethernet industrial, precum Profinet, EtherCAT , EtherNet/IP și POWERLINK [B23] sunt preferate pentru performanța ridicată și integrarea cu simulările. Integrarea IT/OT se realizează prin OPC UA [B24] și OPC UA over TSN [B25], asigurând interoperabilitate și comunicații deterministe. Comunicațiile wireless, inclusiv WirelessHART [B26], ISA100.11a și 5G/Wi-Fi 6 industrial [B27], sunt tot mai utilizate în simulări distribuite și aplicațiile mobile. De asemenea, soluțiile middleware, precum FMI [B28] și ROS-Industrial [B29], permit integrarea modelelor de simulare cu echipamentele reale, facilitând testarea nedistructivă și optimizarea concepției.

2.3 Principalele etape și metodele utilizate în industrie pentru controlul celulelor robotizate. Logica de control secvențial și programarea Ladder

Programarea unui PLC începe cu definirea intrărilor, care pot fi digitale („0” sau „1”) sau analogice (valori continue, de exemplu 0–10 V DC), nivelul logic „1” corespunzând frecvent tensiunii de alimentare de 24 V DC sau 12 V DC. Intrările digitale sunt activate prin senzori, comutatoare sau semnale de la alte PLC-uri într-o arhitectură master-slave. Etapa hardware presupune conectarea elementelor procesului la intrări/ieșiri, iar etapa software implică scrierea și încărcarea programului în limbajul ales.

Standardul IEC 61131-3 definește cinci limbaje principale pentru PLC: Ladder Diagram (LD), Function Block Diagram (FBD), Structured Text (ST), Instruction List (IL) și Sequential Function Chart (SFC). LD este inspirat din schemele electrice cu relee, FBD oferă o reprezentare vizuală intuitivă, ST este textual și de nivel înalt, IL este un limbaj de nivel scăzut, iar SFC descrie procese secvențiale grafic.

Logica de control secvențial utilizează structurile fundamentale IF-ELSE, WHILE și instrucțiuni de salt, conform studiilor clasice ale lui Böhm și Jacopini [B30]. Structurile cu o singură intrare și ieșire sunt mai clare pentru programatori. SFC, derivat din GRAFCET și inspirat de rețelele Petri, permite modelarea pașilor și tranzițiilor unui proces, inclusiv bucle, ramificații sau secvențe paralele. SFC poate fi implementat în Ladder, iar limbajele IL, LD, ST și FBD sunt considerate echivalente cu SFC pentru secvențe de nivel înalt. Avantajul major al SFC constă în claritatea algoritmilor și ușurința implementării în aplicații industriale complexe, inclusiv în procese paralele sau ramificate.

2.4 Concluzii privind necesitatea cercetării pentru punerea virtuală în funcțiune

Concluzii privind programarea Ladder utilizând logica de control secvențial

- Programul controllerului PLC poate conține câteva secvențe de stări, de exemplu: buclă de control, HMI (human-machine interface), comunicație etc. HMI-ul poate impacta asupra efectuării altor secvențe prin controlul etapelor procesului.
- Sistemul controlat dinamic dependent de timp și temporizatoarele controllerelor PLC sunt tratate în mod similar în partea superioară a diagramei SFC și sunt controlate prin semnalele de stare. Diagramele Ladder sunt ușor de tradus în restul limbajelor standardului IEC61131-3, printre altele, listă de instrucțiuni (IL). Programarea în limbaj IL este ușor de tradus de alte microprocesore. Prin urmare, diagramele pot fi utile în metodologia și proiectarea sistemelor încorporate.
- Metoda de programare SFC utilizând limbajul diagramelor se dovedește a fi deosebit de potrivită pentru controlul secvențial în sistemele gestionate de controllere mici. Graficul clar al stărilor și tranzițiilor conferă un nivel superior de vizibilitate algoritmilor de control, facilitând înțelegerea logicii de către utilizatorii acestor controllere.

Concluzii privind factorii de interes în investigarea software și hardware pentru controlul roboților industriali utilizați în VC

- Stabilirea configurației PLC și a software-ului aferent precede alegerea componentelor cheie pentru facilitarea comunicației cu un dispozitiv „slave” în cadrul celulei robotizate; această abordare contribuie în mod esențial la funcționarea eficientă a sistemului.
- Din prima analiză a componentelor software am ales versiunea RobotStudio 6.0.1 în special pentru îmbunătățirile pentru partea de semnale și comunicație, față de versiunea precedentă, principalele argumente fiind reprezentate de exportul station logic și de modulul DSQC pentru editarea instanțelor de semnale.

- Corelativ cu analiza componentelor software, s-a ales pentru componenta hardware să se lucreze cu controllerul IRC5, acesta având ca principal avantaj instrumentele PC care optimizează performanța robotului pentru cicluri scurte și mișcări precise.

Din cele menționate și informațiile din literatura de specialitate putem concluziona următoarele:

- În urma analizei avantajelor și dezavantajelor produselor Siemens existente pe o piață conturată pe nevoia punerii virtuale în funcțiune a celulelor robotizate, estimând un număr de semnale (intrări/ieșiri) necesare aplicației în cauză, se va folosi un procesor CPU S7-S1200. Codul complet al produsului trebuie generat în urma stabilirii listei exacte de semnale, a echipamentelor periferice folosite, a comunicației alese și a logicii de implementare.
- Pentru a îngloba programarea PLC și programarea HMI, precum și pentru a putea comunica eficient cu procesorul S1200 în Teza de doctorat se va folosi interfața de programare și gestiune a datelor Siemens TIA Portal, iar versiunea se va defini ulterior în urma testelor cu simulatoarele, urmărind un răspuns cât mai rapid

Capitolul 3. CONTRIBUȚII METODOLOGICE PRIVIND APLICAREA CONCEPTELOR DE PUNERE VIRTUALĂ ÎN FUNCȚIUNE A UNEI CELULE ROBOTIZATE

În acest capitol sunt dezvoltate contribuțiile teoretice și metodologice esențiale pentru realizarea aplicării conceptelor de punere virtuală în funcțiune (VC) a unei celule robotizate conform etapelor succesive din Fig. 3.1. Studiul de caz ales, reprezentat de prototipul virtual original al unei aplicații robotizate de asamblare și manipulare oferă un cadru aplicativ concret pentru validarea metodologiilor propuse și pentru identificarea limitelor conceptelor.

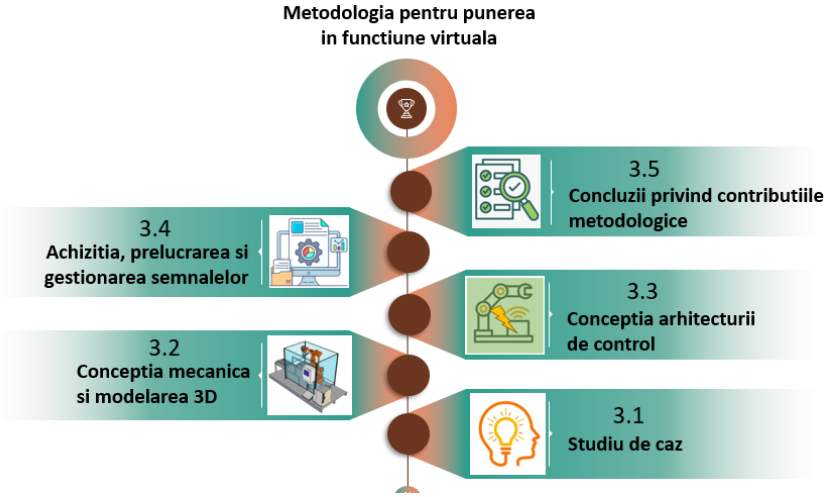


Fig. 3.1 Metodologia pentru punerea virtuală în funcțiune

Sunt abordate: concepția mecanică și modelarea 3D a celulei robotizate, precum și a componentelor sale cu scopul de a asigura o reprezentare fidelă și funcțională în mediile de simulare. În paralel sunt dezvoltate metodologiile specifice pentru concepția electrică, incluzând integrarea senzorilor, gestionarea semnalelor și proiectarea logicii de programare pentru componentele electrice și electronice, elemente indispensabile pentru controlul sincronizat al sistemului.

Capitolul se încheie prin formularea concluziilor care evidențiază contribuțiile metodologice aduse în domeniul punerii virtuale în funcțiune (VC), subliniind impactul integrării metodologice dintre modelarea mecanică și electrică, precum și limitarea comunicației între platforme, elemente esențiale pentru implementarea unor soluții eficiente în industria robotică modernă. Totodată sunt evidențiate și elementele principale necesare pentru aplicarea conceptelor de punere virtuală în funcțiune (VC) pentru celula robotizată simulată offline.

3.1 Studiu de caz privind prototipul virtual al unei aplicații robotizate de asamblare și manipulare

O celulă robotizată de asamblare și manipulare (Fig. 3.1) permite manipularea și îmbinarea semifabricatelor cu ajutorul unui robot industrial și a echipamentelor periferice, incluzând sisteme automate de alimentare, senzori, scule de asamblare, sisteme de control și de siguranță. Acțiunile implică transportul obiectelor pe traiectorii prestabilite și asamblarea lor, folosind: sisteme de transport sau stive, posturi de centrare și poziționare, echipamente de acționare (effectori, compresoare, pompe de vacuum), robot cu controller și panou electric, automat programabil pentru sincronizare și senzori pentru monitorizarea pozițiilor și stărilor [C30]. Sunt două configurații fundamentale: celulă de asamblare robotizată (unitate independentă cu ciclu mare de timp și varietate mare de componente) și linie de asamblare robotizată (stații în serie, ciclu scurt, număr limitat de componente). Sistemele pot fi flexibile (manual și robotizat) sau fixe (mecanizat) [C31][C32].

Exemplul abordat în teză este o celulă robotizată pentru asamblarea paleților din lemn care include un robot cu end-effector dublu pentru inserția automată a cuielor și manipulare, o masă rotativă cu două șabloane pentru fixarea și încărcarea paleților și un sistem complet de siguranță cu bariere, scanner la sol și controller izolat. Șabloanele sunt adaptabile pentru diferite dimensiuni de paleți, iar încărcarea pe partea opusă a mesei rotative reduce timpul de ciclu, crescând siguranța și viteza producției [C33].

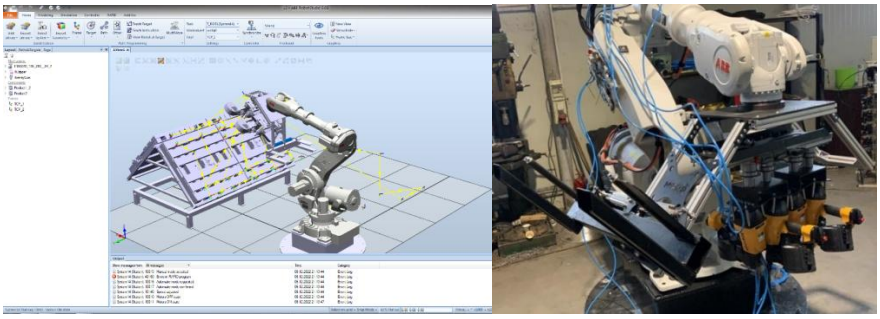


Fig. 3.1 Modelul virtual și cel fizic

3.2 Metodologia, concepția mecanică și modelarea 3D a celulei robotizate și a elementelor componente

În cadrul studiului de caz a fost realizată: sinteza asistată 3D, parametrizarea și configurarea completă CAD a unei celule robotizate utilizând Catia V5 pentru concepția mecanică și ABB RobotStudio pentru programarea și simularea offline. Obiectivul principal a constat în validarea funcțională a aplicației robotizate și în asigurarea coerenței dintre modelul virtual și cel fizic.

Aplicația a fost configurată prin definirea parametrilor cinematici și funcționali necesari desfășurării operațiilor de asamblare și manipulare. Au fost stabilite două puncte de comandă TCP, unul destinat procesului de asamblare cu pistoale automate de cuie și unul pentru manipularea paleților, permițând testarea traiectoriilor, optimizarea mișcărilor și reducerea riscului de coliziuni în mediul virtual. End-effectorul a fost definit ca unealtă (tool), prin stabilirea centrului de greutate, a momentelor de inerție și a TCP-ului, asigurând validarea traiectoriilor și a funcționalității în simulare.

O parte importantă din documentația tehnică realizată este concepția mecanică a echipamentelor componente, care a fost detaliată prin realizarea desenelor de execuție 2D, asigurând corelarea dintre structura mecanică și strategiile de control. End-effectorul este alcătuit dintr-un cadru structural și subansambluri dedicate montajului și manipulării paleților, proiectate pentru flexibilitate și compensare dimensională a diversităților de paleți.

3.3 Metodologia de realizare a concepției arhitecturii de control a celulei robotizate

După etapa de proiectare mecanică, urmează etapa care cuprinde alegerea senzorilor, a semnalelor și logica de programare pentru componentele electrice și electronice din celula robotizată. Aceasta este una dintre cele mai importante etape ale metodologiei de punere în funcțiune virtuală (VC) și cea mai importantă în ceea ce privește implementarea punerii virtuale în funcțiune. Toate echipamentele și subansamblurile celulei robotizate trebuie să fie pregătite să funcționeze în condiții de siguranță, fără riscul avariilor sau a coliziunilor. În cadrul punerii virtuale în funcțiune această etapă este esențială pentru validarea corectă a interblocărilor, a fluxului de semnale și a reacției sistemului la condițiile de pornire.

Obiectivele principale ale secvenței sunt: verificarea condițiilor preliminare (starea mesei rotative, absența alarmelor, semnalul de Stop de urgență); inițializarea subsistemelor (alimentarea echipamentelor, resetarea variabilelor și stabilirea poziției de referință a robotului); activarea interfeței operator (validarea comenzii de start și semnalizarea trecerii în starea „Ready"); confirmarea disponibilității celulei (transmiterea semnalului către PLC și pregătirea pentru următoarea secvență).

Logica secvențială

La nivel logic, secvența poate fi descrisă sub următoarea formă:

- Pas 0 - Stand-by: celula se află în repaus, așteaptă comanda de pornire.
- Pas 1 - Verificarea condițiilor inițiale: se citesc senzorii de stare (masă rotativă, alarme, Stop de urgență).
- Pas 2 - Reset alarme și inițializare subsisteme: dacă sunt îndeplinite condițiile, sistemul inițiază secvența de reset și alimentare.
- Pas 3 - Poziționare robot în Home: robotul execută mișcarea spre poziția de referință, confirmată prin semnalul de poziționare.
- Pas 4 - Confirmare disponibilitate: dacă toate condițiile sunt validate, se activează semnalul de „Ready for cycle".
- Tranziție: Sistemul este pregătit pentru trecerea la secvența următoare de lucru.

Secventele de programare sunt: Punere în serviciu, Secvența de asamablare palet, Secvența masa rotativă, Secvența evacuare paleți.

Secvența de asamblare (Fig 3.2) palet este una dintre cele mai complexe faze din cadrul controlului celulei robotizate. Rolul ei este de a coordona robotul industrial, masa rotativă și echipamentele auxiliare pentru realizarea procesului de asamblare, eliminând riscurile prin prioritizarea alarmelor. Această etapă presupune citirea continuă a stărilor robotului și a mesei, validarea mișcărilor și verificarea permanentă a absenței erorilor după cum urmează:

1. Gestionarea mișcărilor robotului industrial, ridicare și plasare a pieselor în secvență.
2. Coordonarea cu masa rotativă, blocare/deblocare și repoziționare în funcție de progresul paletizării.
3. Prioritizarea alarmelor, întreruperea imediată a ciclului în caz de eroare și notificarea operatorului.

Pași și tranziții:

P0 - Stand-by: sistemul așteaptă comanda „Start Asamblare Palet", condiții: celula este pregătită și fără alarme → T0: la primirea comenzii de start și confirmarea absenței alarmelor se trece la P1. P1 - Verificare disponibilitate: se citesc stările robotului și ale mesei rotative, condiții: robot „Ready" și masă fixată în poziție → T1: dacă robotul și masa sunt disponibile se trece la P2 și așa mai departe.

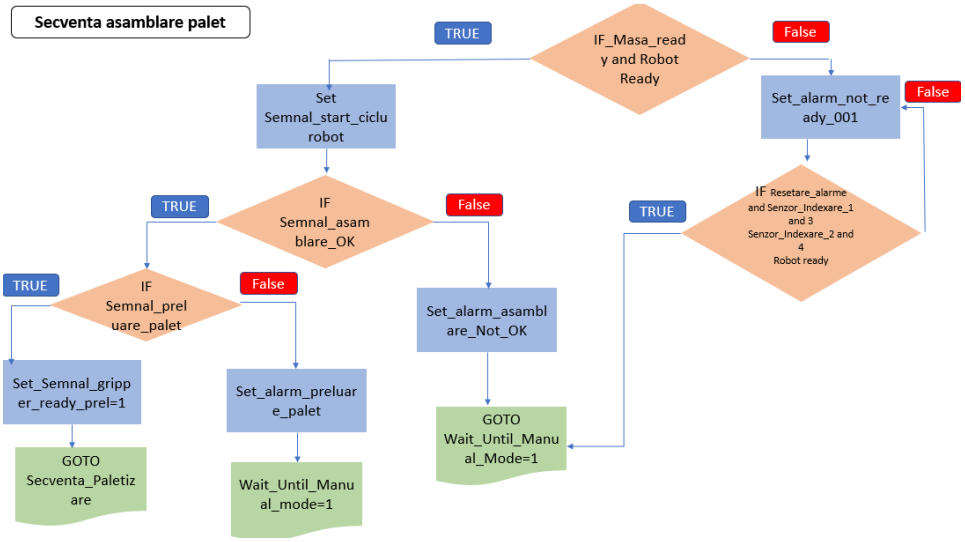


Fig. 3.2 Schema logică pentru programarea secvenței de asamblare a paletului

Relevanța punerii virtuale în funcțiune a celulei robotizate prezentate

Punerea virtuală în funcțiune joacă un rol esențial în validarea și optimizarea întregului ciclu de control al celulei robotizate:

1. **Verificarea logicii secvențiale:** punerea virtuală în funcțiune permite testarea tuturor celor cinci secvențe fără a afecta echipamentele reale, detectând erori în ordine, condiții și tranziții.
2. **Siguranță și interblocări:** pentru a valida reacția corectă a sistemului se pot simula alarme, stopuri de urgență sau coliziuni, înainte de punerea în funcțiune fizică.
3. **Sincronizarea echipamentelor:** robotul, masa rotativă, end-effectorul și conveiorul pot fi testate simultan în scenarii realiste, asigurând faptul că interacțiunea dintre ele nu produce conflicte sau blocaje.
4. **Optimizarea timpilor de ciclu:** testarea virtuală permite ajustarea parametrilor de mișcare, a vitezei robotului și a timpilor de rotație ai mesei pentru a maximiza productivitatea.
5. **Flexibilitate în programare și modificări:** modificările în tiparele de paletizare, ordinea secvențelor sau strategiile de evacuare pot fi simulate imediat, reducând timpul și costurile de testare pe echipamente reale.

Astfel, punerea virtuală în funcțiune devine un instrument necesar pentru asigurarea funcționării sigure, eficiente și predictibile a celulei robotizate, înainte de lansarea operațională.

În acest studiu este prezentată concepția și realizarea schemelor (Fig. 3.3) electrice și pneumatice necesare comenzii și alimentării cu energie a celulei robotizate. Echipamentele electrice includ atât partea de alimentare, cât și componenta electronică, iar aparatele de protecție și auxiliare contribuie la asigurarea fluxului normal de energie electrică [C34]. Instalațiile electrice sunt împărțite în curenți tari și curenți slabi, circuitele de curenți tari fiind reprezentate de circuitele de putere mare (primar) și de circuitele de comandă I/O.

Circuitul de putere principal este dimensionat pentru tensiune trifazată de 400 V AC, 50 Hz, conform IEC 60038, utilizând cabluri NYY-J sau echivalente, izolate PVC/PUR, conforme cu HD 603 S1. Controllerul robotului este alimentat prin circuit dedicat, protejat prin disjunctoare conforme cu IEC 60947-2, iar împământarea respectă IEC 60364-5-54. Tabloul electric utilizează componente modulare montate pe șine DIN 35 mm, iar organizarea cablajului respectă EN 60947-7-1. Cablurile multifilare respectă UL 758 și IEC 60228, iar protecția circuitelor se realizează cu siguranțe modulare și disjunctoare conform EN 60898-1, precum și cu descărcătoare de supratensiune EN 61643-11.

Controlul motorului se realizează prin disjunctorul tripolar de 40 A și contactorul de forță, iar alimentarea sursei de 24 V, 10 A este protejată prin disjunctorul bipolar de 20 A. Sistemele de securitate includ bariere optice tip „light curtain” (EN/IEC 61496-1), stopuri de urgență „mushroom button” (EN ISO 13850) și relee de siguranță conforme cu EN ISO 13849-1 și IEC 62061, respectând principiul redundanței și al autodiagnosticării pentru atingerea performanțelor PL d/e. PLC-ul industrial gestionează semnalele de intrare/ieșire și comunică cu robotul prin modul de semnal digital „hand-shake” DSQC, esențial pentru punerea virtuală în funcțiune [C34].

Concepția acționărilor pneumatice

În cele mai multe aplicații industriale se preferă ca principala acționare să fie una pneumatică datorită unor avantaje ca: simplitate constructivă, robusteţe, fiabilitate, productivitate, preţ mai scăzut, utilizabilă în medii cu pericol de explozie. [C35]

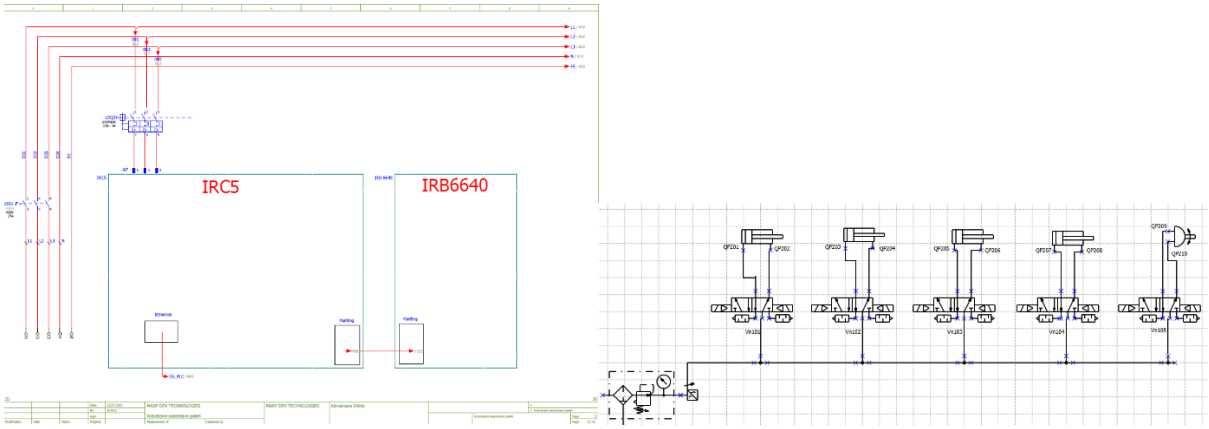


Fig. 3.3 Exemplificare - circuit electric și pneumatic pentru controlul celulei

Pentru acționarea cilindrilor din celula robotizată s-au folosit: un Grup FRU Principal, presostat digital, regulator secundar, două distribuitoare 5/2, 4 amortizoare de zgomot, 4 drosele pentru reglarea debitului de aer și 2 cilindri ghidați.

3.4 Achiziția, prelucrarea și gestionarea semnalelor

Următoarea etapă din cadrul metodologiei de aplicarea a conceptelor de punere virtuală în funcțiune este achiziția, prelucrarea și gestionarea semnalelor. Etapa începe cu configurarea hardware și configurarea rețelei de dispozitive necesară pentru programarea în TIA Portal. Pentru această subcategorie sunt obligatorii două elemente: definirea tabelei de semnale (Fig 3.4) și alegerea configurației procesorului care să permită funcționalități de VC.

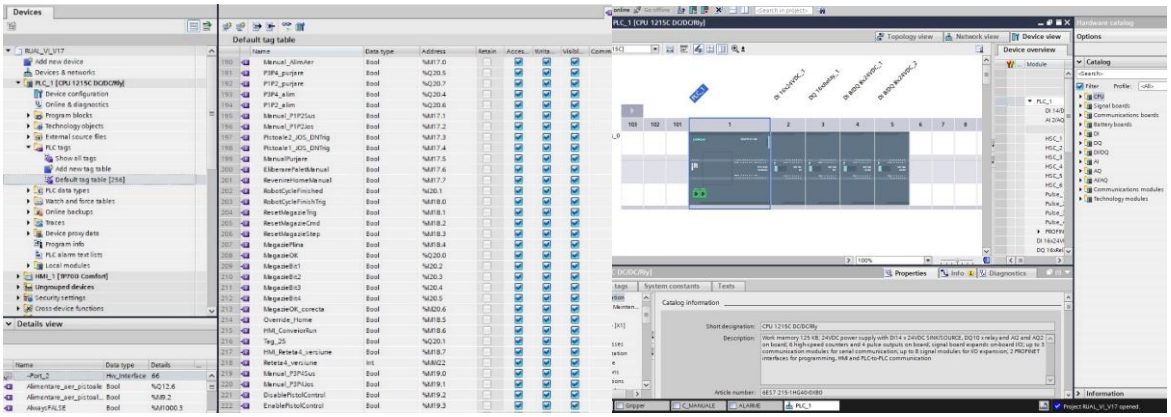


Fig. 3.4 Tabela de semnale și configurare procesor

Fluxul unui semnal digital provenit de la senzorul de detecție a poziției cilindrului de blocare evidențiază integrarea completă a semnalelor fizice în ciclul de control al celulei robotizate. Semnalul inițial, generat mecanic atunci când cilindrul ajunge în poziția de blocare, este preluat (Fig 3.5) de interfața PLC prin canalele digitale corespunzătoare și convertit într-un bit logic utilizabil în programul de control. PLC-ul procesează semnalul conform logicii programului, evaluând condițiile prestabilite, cum ar fi starea robotului sau a mesei rotative. În funcție de rezultat, logica generează tranzacțiile necesare pentru continuarea ciclului automat sau pentru declanșarea unei alarme în cazul abaterilor.

Programul HMI recepționează starea semnalului și actualizează indicatorii vizuali ai secvenței în derulare, oferind operatorului feedback în timp real. Această informație este afișată și pe interfața HMI fizică a celulei robotizate, completând traseul semnalului de la starea mecanică inițială până la reprezentarea vizuală și operațională a dispozitivului.

Schema din Fig. 3.6 evidențiază importanța verificării fiecărei etape a fluxului informațional și este esențială pentru punerea virtuală în funcțiune și pentru menținerea siguranței operaționale în cadrul aplicațiilor robotizate.

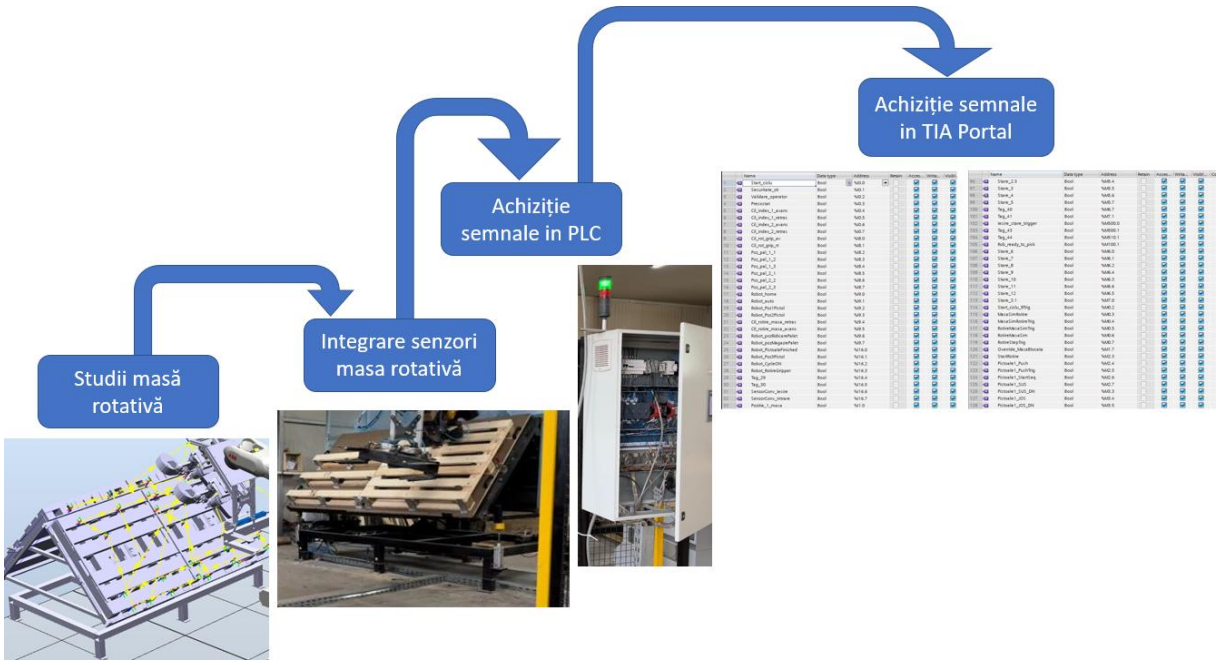


Fig. 3.5 Achiziția semnalelor mesei rotative

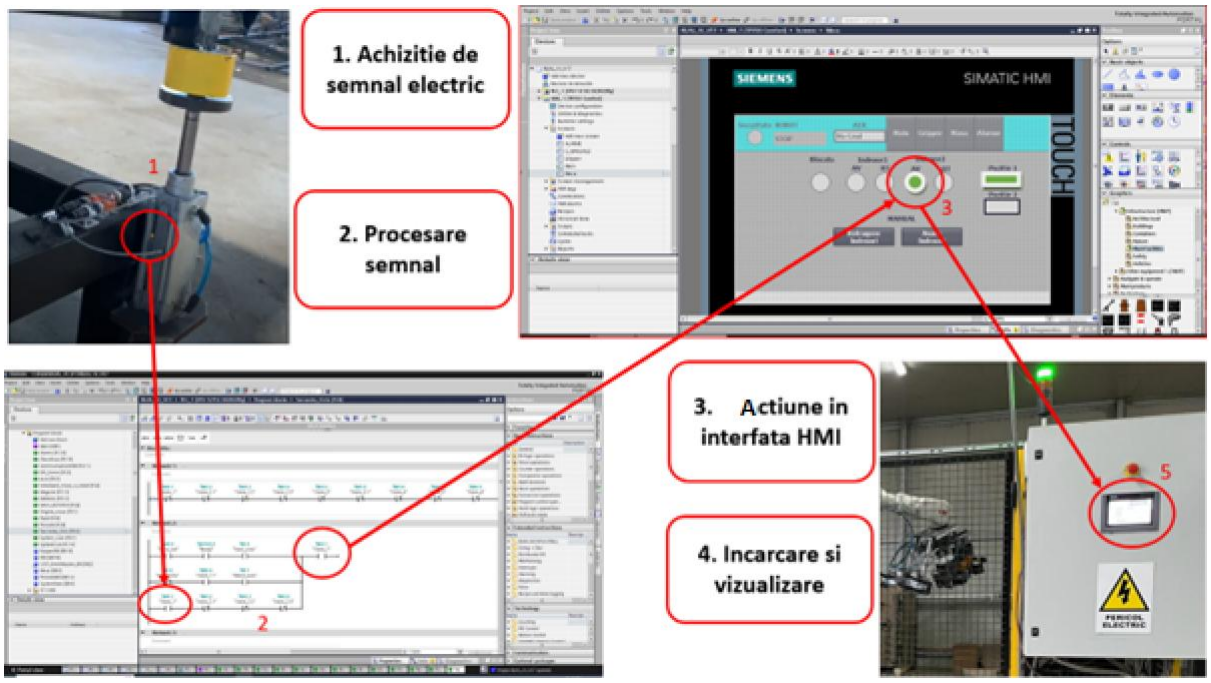


Fig. 3.6 Schema de preluare, procesare și implementare a semnalelor pentru masa rotativă

Relevanța în contextul punerii virtuale în funcțiune

Punerea virtuală în funcțiune permite simularea întregului traseu al semnalului, fără a fi necesară prezența fizică a cilindrului sau a celulei robotizate, oferind următoarele avantaje:

1. **Validarea logicii de control:** punerea virtuală în funcțiune asigură ca semnalul să fie preluat corect, procesat și transmis în toate secvențele programului PLC înainte de implementarea fizică.
2. **Testarea interblocărilor și a scenariilor de siguranță:** semnalul poate fi simulat în situații normale sau de eroare, verificând reacția corectă a sistemului la alarme sau blocaje.
3. **Verificarea interfeței HMI:** se poate evalua modul în care HMI-ul reflectă starea semnalului, asigurând corectitudinea feedback-ului vizual pentru operator.
4. **Reducerea riscurilor și a timpului de testare:** Testarea virtuală elimină riscul de avarii sau coliziuni și scurtează timpul necesar pentru punerea în funcțiune fizică.
5. **Optimizarea parametrilor de sistem:** VPI permite ajustarea fluxului de semnale, a timpilor de reacție și a ordinii tranzacțiilor, astfel încât sistemul să funcționeze eficient și sigur încă de la prima pornire fizică.

Astfel, analiza completă a traseului semnalului în mediul virtual contribuie la creșterea siguranței, fiabilității și predictibilității celulei robotizate, elemente esențiale în cadrul punerii virtuale în funcțiune.

În urma mai multor încercări de gestionare a celulei folosind TIA Portal V14 și 15 a fost remarcată lipsa procesoarelor care să permită punerea în funcțiune virtuală (VC). Prin urmare, a fost realizată parametrizarea mașinii virtuale și instalarea software-ului TIA Portal V16.

Configurarea elementelor hardware în mediul virtual

Pentru realizarea simulării s-a ales procesorul CPU 1215C cu port Profinet și un port serial. Procesorul ales este din familia de procesoare 1200, familie de procesoare Siemens care este potrivită pentru astfel de aplicații.

A fost realizată comunicația Ethernet folosind protocolul de comunicație Siemens, și anume Profinet între procesorul PLC, interfața HMI și robot. Indiferent de marca robotului acesta are nevoie de un modul separat de comunicație, care să suporte protocolul de Profinet.

Parametrizarea și crearea logicii de operare

După parametrizarea precisă a tuturor elementelor componente ale celulei robotizate, a robotului, a mesei rotative, a end-effectorului robotului, a transportorului și după crearea logicii locale de nivel 1 pentru fiecare dintre aceste componente, a fost creată logica de control de nivel 2. Aceasta include cazurile prioritare pentru controlul elementelor componente ale celulei robotizate. Logica de operare de nivel 2 (Fig 3.7) a fost proiectată sub forma unei diagrame logice și transpusă în cod ladder pentru PLC conform metodologiei matematice.

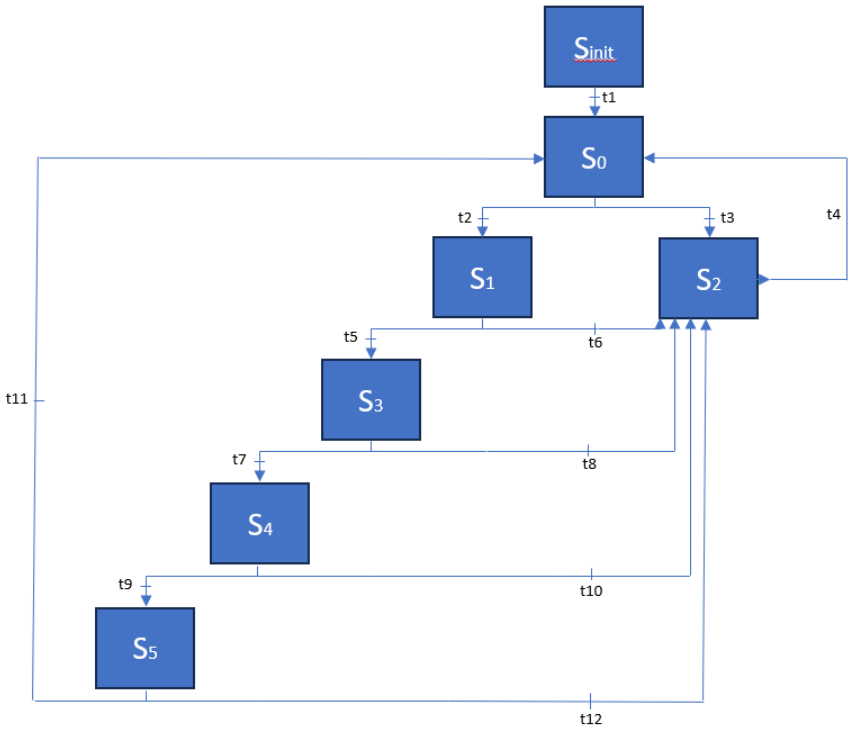


Fig. 3.7 Control logic nivel 2

S_{init} reprezintă starea inițială a sistemului și are următoarea formulă:

$$\sum \boldsymbol{s_{init}} = \overline{\boldsymbol{S0}} + \overline{\boldsymbol{S1}} + \overline{\boldsymbol{S2}} + \overline{\boldsymbol{S3}} + \overline{\boldsymbol{S4}} + \overline{\boldsymbol{S5}} \quad (3.1)$$

unde S_0, S_1, S_2, S_3, S_4 si S_5 sunt toate stările sistemului logic de control. De asemenea, pentru conversia de scară, „$S^{\neg}$” reprezintă contactul închis, iar „S” contactul deschis. Starea inițială este accesată la prima pornire a PLC-ului și este necesar ca sistemul să nu fie blocat în niciuna dintre stări.

$$\boldsymbol{s_0} = \boldsymbol{s_{init}t_1} + \boldsymbol{s_2t_4} + \boldsymbol{s_5t_{11}} + \boldsymbol{s_0}\overline{\boldsymbol{s_1s_2}} \quad (3.2)$$

S_0 este starea în care se verifică starea tuturor echipamentelor, cum ar fi transportorul, masa rotativă și starea efectorului.

S_1 este starea care comandă ciclul de mișcare Acasă, S_2 este starea care a declanșat ciclul de oprire, t_1 reprezintă „Tranziția 1” care reprezintă „butonul de redare”, t_4 este un temporizator de 300 ms, t_{11} este tranziția declanșată de senzorul de prezență al transportorului. S_5 este secvența de paletizare a paleților, iar t_{11} este tranziția semnalului pentru end_cycle_ok.

$$s_1 = s_0t_2 + s_1\overline{s_2s_3} \quad (3.3)$$

unde t_2 este variabila locală care confirmă dacă toate elementele sistemului sunt gata, iar s_3 este controlul secvenței de asamblare a cuielor.

$$s_2 = s_0t_3 + s_1t_6 + s_3t_8 + s_4t_{10} + s_5t_{12} + s_2\overline{s_0} \quad (3.4)$$

t_3 este variabila locală pentru echipamentul nefuncțional, t_6 este variabila locală pentru efectorul nepregătit, t_8 este variabila locală pentru cuiele de asamblare nefuncționale, s_5 este secvența pentru ciclul de preluare a paletei, t_{10} este variabila locală pentru prezența senzorului de preluare nefuncțională, s_5 este secvența pentru aruncarea și paletizarea paletei, t_{12} este variabila locală pentru aruncarea și paletizarea nefuncționale.

$$s_3 = s_1 t_5 + s_3 \overline{s_4} + s_3 \overline{s_2} \tag{3.5}$$

t_5 este variabila locală pentru "effector ready".

$$s_4 = s_3 t_7 + s_4 \overline{s_5} \overline{s_2} \tag{3.6}$$

t_7 este variabila locală pentru "cuie ok".

$$s_5 = s_4 t_9 + s_5 \overline{s_0} \overline{s_2} \tag{3.7}$$

t_9 este variabila locală pentru "senzor preluare ok".

3.5 Concluzii

Din parcurgerea etapelor metodologice pentru simularea offline și implementarea celulelor robotizate au fost remarcate următoarele limitări și elemente necesare adăugării și aplicării punerii virtuale în funcțiune în metodologia existentă.

Principalele **contribuții metodologice** sunt:

- **Integrarea mediilor software într-o arhitectură unitară de control** demonstrează că punerea virtuală în funcțiune nu poate fi concepută independent de platforma TIA Portal, ci necesită o corelare strânsă între modulele de integrare, precum Simatic Robot Integrator, arhitectura de control și procesele de modelare digitală. Această dependență instituie o abordare metodologică bazată pe compatibilitatea între instrumente software provenite de la furnizori diferiți.
- **Constrângerile de compatibilitate software și hardware**, precum necesitatea versiunilor minime TIA Portal V16 sau utilizarea modulelor specifice precum DSQC 652, generează un cadru metodologic în care validarea preliminară a configurației digitale devine o etapă obligatorie. Aceasta asigură continuitatea fluxului de date și funcționalitatea completă a gemenilor digitali în scenarii de simulare și testare.
- **Implementarea virtuală a controllerelor fizice în medii HMI** confirmă faptul că punerea virtuală în funcțiune nu se reduce la reproducerea proceselor, ci presupune o transpunere metodologică a logicii de control în structuri virtuale echivalente. Din perspectivă teoretică, acest proces se constituie într-o modelare conceptuală a arhitecturii de control, care permite verificarea algoritmilor de comandă în absența limitărilor materiale.
- **Proiectarea mecanică și modelarea 3D a celulei robotizate** se află într-o legătură metodologică directă cu cerințele punerii virtuale în funcțiune. Structura cinematică, integrarea acționărilor pneumatice și detaliile geometrice trebuie definite încă din faza de concepție pentru a asigura compatibilitatea cu mediile de simulare și cu gemenii digitali. Din

punct de vedere teoretic, aceasta evidențiază o schimbare în modul de proiectare, în care partea mecanică devine un element esențial al metodologiei integrate.

➢ **Punerea virtuală în funcțiune nu se limitează la o simplă reproducere digitală, ci reprezintă o strategie coerentă de proiectare, validare și optimizare a sistemelor robotizate**. Aceasta presupune integrarea software-ului de automatizare, a mediilor de simulare și a controllerelor simulate, pentru verificarea logicii de control și evaluarea interacțiunilor înainte de implementarea fizică. Din perspectivă teoretică, abordarea consolidează conceptul de rețea ciber-fizică bazată pe gemeni digitali, reducând decalajul dintre proiectarea conceptuală și implementarea industrială. Beneficiile practice (reducerea timpului de lansare, creșterea fiabilității și anticiparea erorilor) validează relevanța teoretică a metodologiei, confirmând statutul punerii virtuale în funcțiune ca instrument fundamental al transformării digitale în industria robotică.

Capitolul 4. CONTRIBUȚII TEORETICE PRIVIND APLICAREA CONCEPTELOR DE PUNERE VIRTUALĂ ÎN FUNCȚIUNE ÎN MEDIILE DE LUCRU SIMATIC ROBOT INTEGRATOR - SIEMENS MCD ȘI SIMATIC ROBOT INTEGRATOR CU MEDII DE SIMUARE ȘI PROGRAMARE EXTERNE SIEMENS

4.1 Introducere

Capitolul 4 prezintă contribuții teoretice privind integrarea și interoperabilitatea mediilor software în punerea virtuală în funcțiune, concentrându-se pe ecosistemul Siemens. Cercetarea compară comunicația între Simatic Robot Integrator și Mechatronic Concept Designer (MCD), precum și integrarea cu medii externe, precum ABB RobotStudio. Conectarea nativă între platformele Siemens se realizează prin soluții Click-to-Connect, care permit sincronizarea rapidă a semnalelor și parametrizarea automată a interfețelor. În schimb, integrarea între producători diferiți necesită maparea manuală a semnalelor și configurarea logicii de schimb de date. Sunt detaliate etapele de configurare a semnalelor între TIA Portal și MCD și mecanismele de comunicație de tip handshake cu mediul de simulare. De asemenea, se abordează limitările interfețelor de utilizator și implementarea ecranelor HMI tip teach-pendant pentru Simatic Robot Integrator. În final, capitolul 4 evidențiază eficiența integrărilor din ecosistemul Siemens și provocările interoperabilității cu platformele ABB, oferind perspective asupra extinderii VC în context industrial.

Obiectivele principale

● Concepția virtuală a Teach-pendantului de control pentru Simatic Robot Integrator (SRI) prin parametrizarea modelului grafic sub formă de ecran din interfața HMI. Acest obiectiv a fost necesar de implementat pentru a substitui hardware-ul pentru testare.

● Stabilirea comunicației și parametrizarea în interfața SRI a codului de control din TIA PORTAL cu modelele geometrice simulate în Siemens MCD.

● Verificarea și testarea integrării Simatic Robot Integrator cu Factory IO, mediu de punere în funcțiune virtuală (VC) diferit de Siemens MCD.

4.2 Concepția și implementarea virtuală a teach-pendantului de control pentru Simatic Robot Integrator prin parametrizarea modelului grafic sub formă de ecran din Interfața HMI

Biblioteca Simatic Robot Integrator (SRI) permite controlul robotului prin conceptul "Uniform Robot Data Interface to PLC". Blocul principal RobotTask este apelat ciclic și gestionează comunicațiile și stările interne de control, iar legătura dintre robotul virtual și interpretor este realizată de blocul DataInterfaceDigitalTwin [D40]. PLC-ul trimite comenzile către controllerul robotului și primește semnale de răspuns, comunicația fiind realizată prin protocolul Profinet. Funcțiile bloc furnizate de biblioteca SRI permit transmiterea mesajelor de comandă, iar interpretorul corespunzător robotului trebuie instalat în controller pentru procesarea comenzilor, interpretoarele fiind furnizate de producătorii agreați în cadrul bibliotecii SRI. Conversia comenzilor (Fig 4.1) și transmiterea/recepția datelor se realizează cu ajutorul unui modul de conversie. Comunicația a fost implementată folosind echipamente hardware din biblioteca TIA Portal, incluzând PLC CPU 1516-3, HMI SRI-KTP900F Mobile, Comau X20F10E3-1 și Staubli-cs9, conectate printr-o rețea Ethernet bazată pe protocolul Profinet.

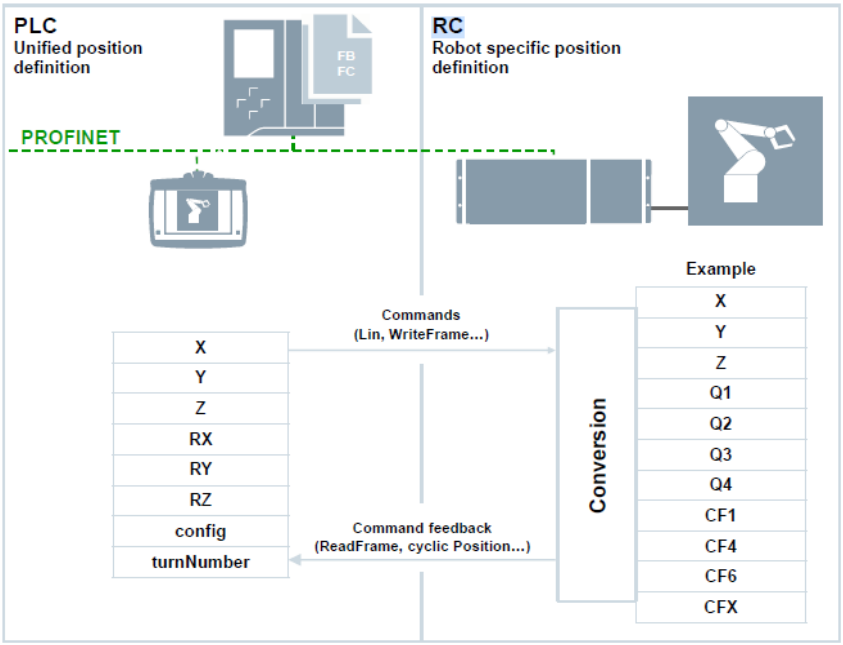


Fig. 4.1 Schema simplificată a comunicației dintre PLC și RC

Implementarea ecranelor HMI pentru substituirea interfeței fizice de comandă a Simatic Robot Integrator s-a realizat prin importul modelului grafic digital al unei interfețe fizice de comandă a SRI în modulul de interfață HMI și parametrizarea prin legături logice între butoanele virtuale și intrările și ieșirile blocurilor de funcții.

Siemens Simatic Robot Integrator (SRI) oferă o bibliotecă de tipologii de roboți industriali pentru integrarea în celulele virtuale de producție. Utilizatorul poate alege între trei opțiuni: roboți predefiniți, cu parametri standard integrați de la producători precum Comau, Staubli, Universal Robots sau Kawasaki; arhitecturi generice, precum Cartesian, RollerPicker, DeltaPicker, SCARA, Articulated Arm sau Tripod, care necesită configurări suplimentare; și User Defined, pentru utilizatori avansați, care permite definirea completă a structurii, parametrilor și interfețelor robotului. Această clasificare oferă suport pentru scenarii standard și aplicații complexe. SRI include ecrane de operare și monitorizare (Fig 4.2), precum Config_soft_end, JogFrame, Tool Overview și Single_linear_movement, precum și ecrane auxiliare pentru Alarm și Diagnostic. Semnalele teach-pendantului virtual sunt organizate în trei categorii: Template (predefinite), Tool Robotics SRI (legate de comenzi grafice) și Robotics_Int (pentru coordonare și poziționare), asigurând un control complet și funcțional al robotului virtual.



Fig. 4.2 Principalele ecrane reprezentate în meniurile de interes

4.3 Stabilirea comunicației

Alocarea adreselor. Parametrizarea în interfața Simatic Robot Integrator a codului de control din Tia Portal cu modelele geometrice simulate în Siemens MCD

În schema din Fig. 4.3 se poate observa la nivel de principiu schimbul de date dintre mediile de lucru Tia Portal prin SRI, cu Siemens NX prin modulul de simulare intern realizate prin comunicația dintre PLC SIM Adv. și MCD Signal Mapping.

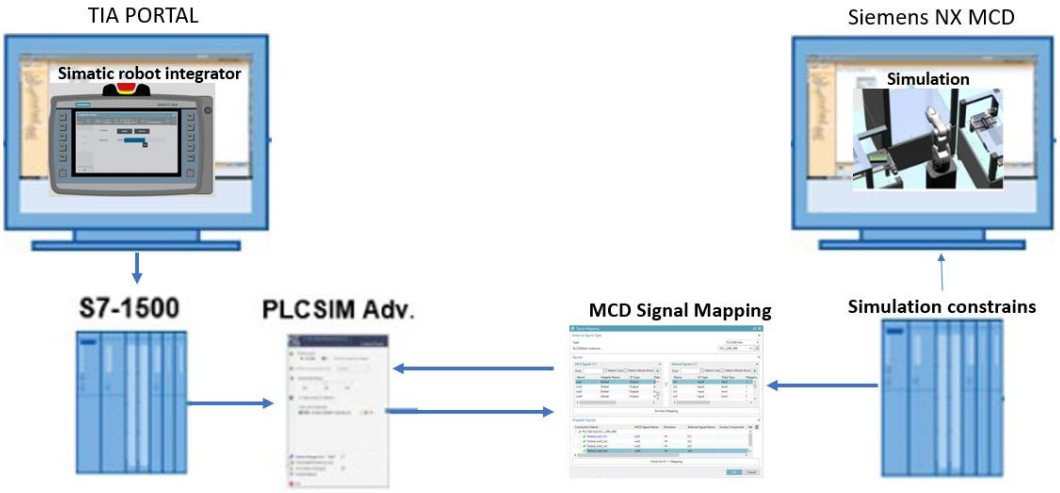
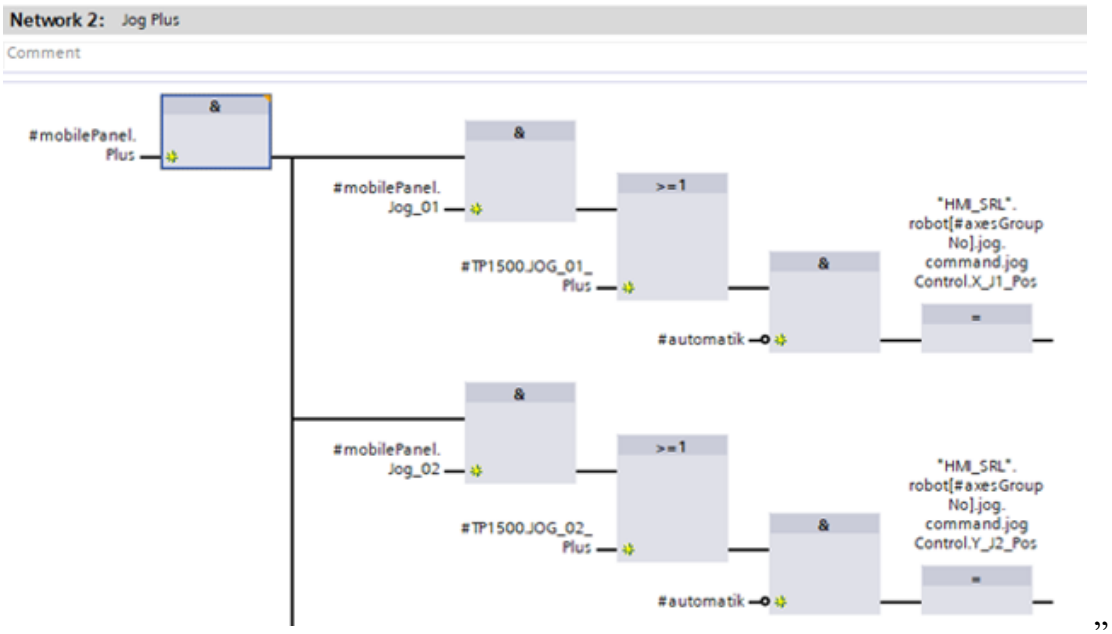


Fig. 4.3 Schema pentru schimbul de informații

În Fig. 4.4 este ilustrat modul de programare pentru funcția Jog_plus. În partea de sus sunt alocate variabilele locale pentru blocul de decizie precum ”startEnableJog”, iar în partea de jos se poate vedea programarea de tip FBD, unde pentru fiecare bloc de decizie se activează biții generați în urma apăsării tastelor virtuale din ecranul Jog.



”

Fig. 4.4 Controlul funcției Jog_plus

În Fig. 4.5 se poate observa selecția modului “Liniar” pentru mișcarea robotului (stânga sus), iar în partea dreaptă jos se poate observa zona de memorie activată la apăsarea butonului din HMI care declanșează funcțiile de decizie și control pentru selecția modului de mișcare.

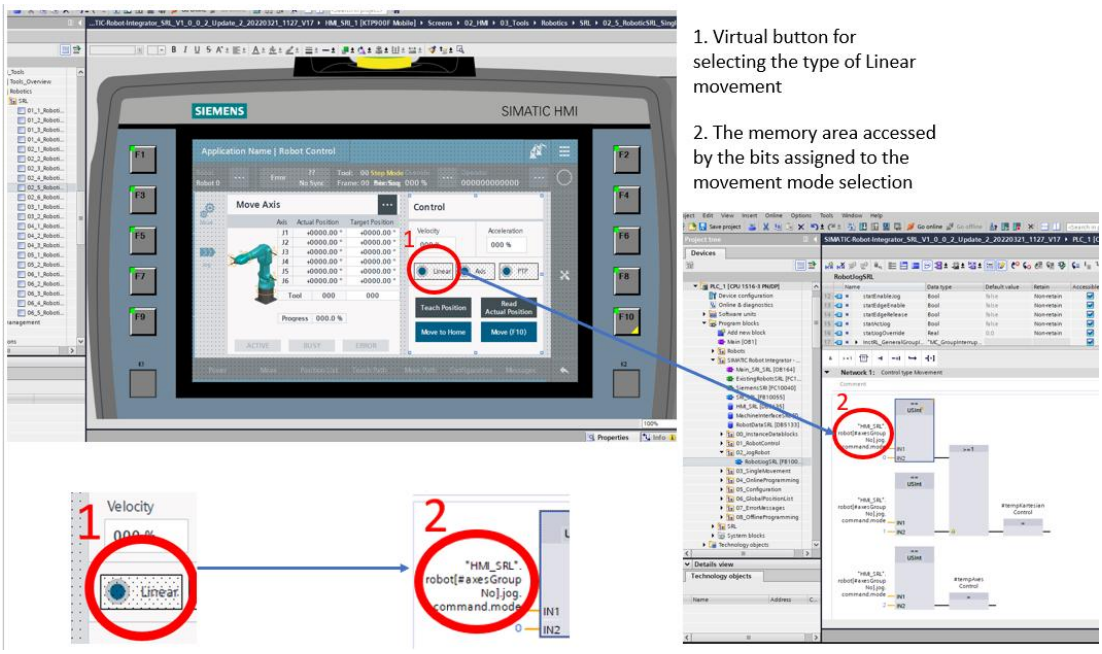


Fig. 4.5 Exemplificare - comunicație Ecran_HMI-Bloc de funcții

4.4 Exportul semnalelor din Tia Portal și Importul în MCD. Limitarea în interfața utilizator a schimbului de semnale

În Fig. 4.6 este evidențiată caseta de pop-up pentru realizarea cu succes a exportului de semnale din Tag_table, iar în dreapta este pregătit setup-ul pentru importul semnalelor exportate din TIA Portal. Se pot observa în caseta „File Type" singurele 3 tipuri de semnale care pot fi importate. Prima posibilitate este "Simit", de unde se pot importa semnale exportate din Simatic Simit simulation framework [D41]. Al doilea tip IL reprezintă „Step 7", pentru care se pot importa semnale exportate din Step 7, iar cel de-al treilea tip IL reprezintă fișierele exportate din TIA Portal. Toate cele 3 tipuri de fișiere aparțin programelor produse de Siemens, limitând importul de semnale pentru orice alt fișier care conține semnale exportate din alte medii de programare la nivelul interfeței utilizator.

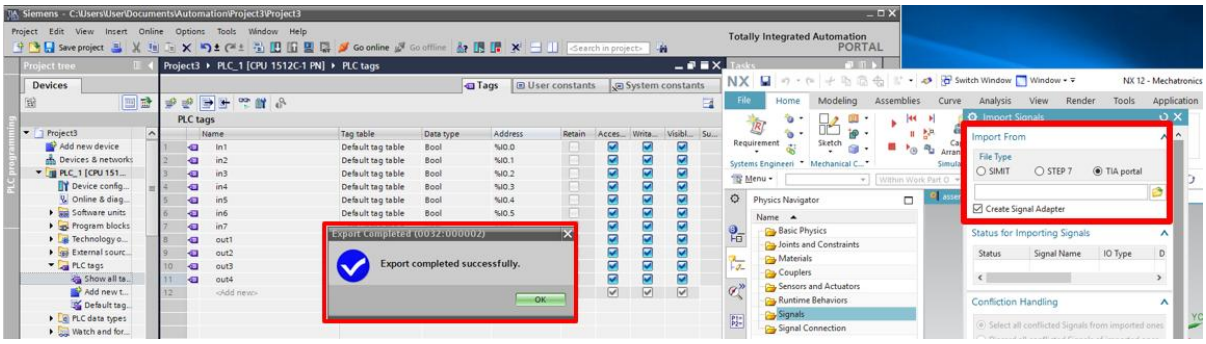


Fig. 4.6 Exportul semnalelor din Tia Portal și Setup-ul pentru importul în MCD

4.5 Configurarea simulatorului avansat din Tia Portal și a semnalelor externe în Siemens MCD. Stabilirea legăturilor (Handshake) între semnalele preluate din PLCSIM Advanced și cele generate de Siemens MCD

În Fig. 4.7, indicatorul „1” se regăsește în secțiunea Signal maping și a fost setat pentru formatul de fișiere „PLCSIM Adv”. Indicatorul 2 se regăsește în secțiunea „External signal configuration” și se poate observa că a găsit instanța „PLC_UPB”, iar statusul este „RUN”. Indicatorul 3 este reprezentat de „PLCSim Adv” și se poate observa numele instanței, statusul „RUN” și IP-ul alocat:192.168.0.1.

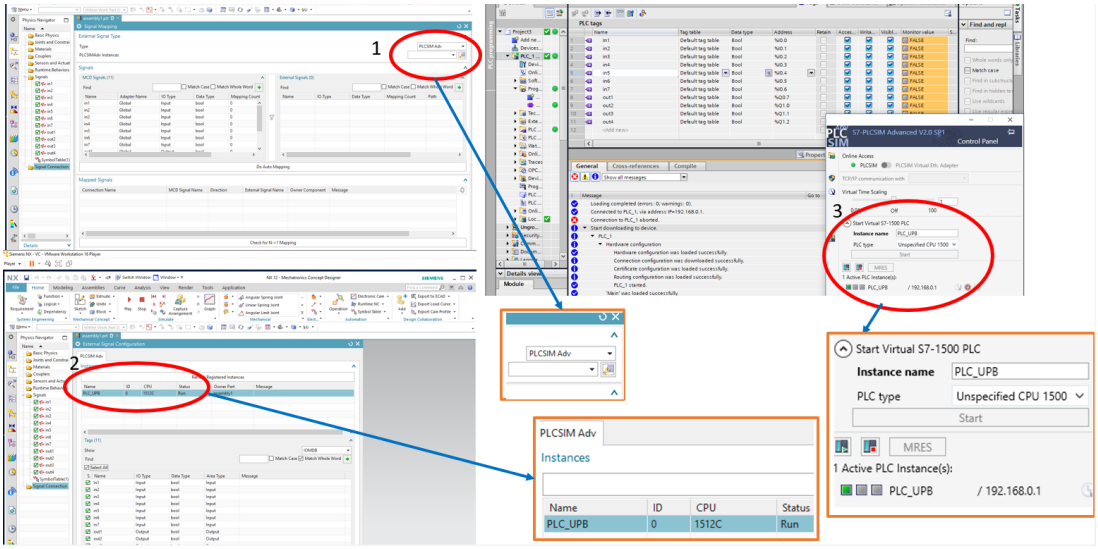


Fig. 4.7 Pregătirea comunicației dintre mediile de lucru

În Fig. 4.8 este prezentată lista legăturilor formate între ieșirile digitale din MCD și intrările digitale din PLCSim Adv. După realizarea legăturilor, acestea se introduc în mod automat în zona de variabile globale din cadrul controlului MCD.

Lista legăturilor formate între ieșirile digitale de la MCD și intrările digitale de la PLCSim Adv. După crearea legăturilor, acestea sunt inserate automat în zona variabilelor globale din cadrul controlului MCD. Caseta 1 conține etichetele PLC (in1, in2). Caseta 2 indică starea PLC-ului care este online, utilizând adresa IP și același nume de instanță ca în MCD. Caseta 3 reprezintă dispozitivul conectat, identificat ca „PLCSIM_Adv”, cu numele de instanță „PLC_UPB_IRRI”. Caseta 4 definește maparea semnalului între semnalele de intrare și ieșire.

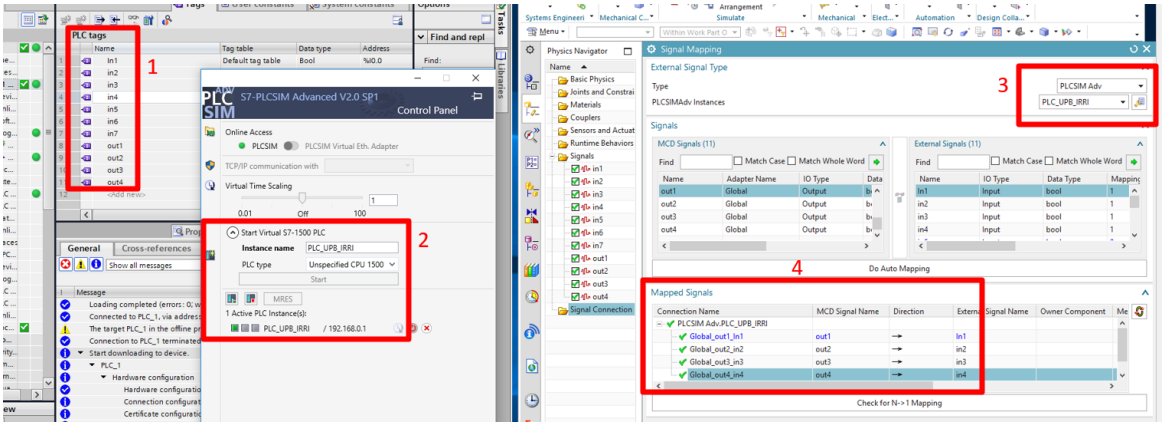


Fig. 4.8 Realizarea legăturilor dintre semnale

4.6 Verificarea și testarea integrării Simatic Robot Integrator cu medii alternative de punere virtuală în funcțiune

Schema grafică din Fig. 4.9 reprezintă o diagramă care conține elementele și traseele de comunicație, precum și limitările care duc la incompatibilități.

Factory IO este un software folosit exclusiv pentru testarea logicii de programare PLC prin punere în funcțiune virtuală a diverselor scenarii realizate de utilizator sau selectate din biblioteca de scenarii.

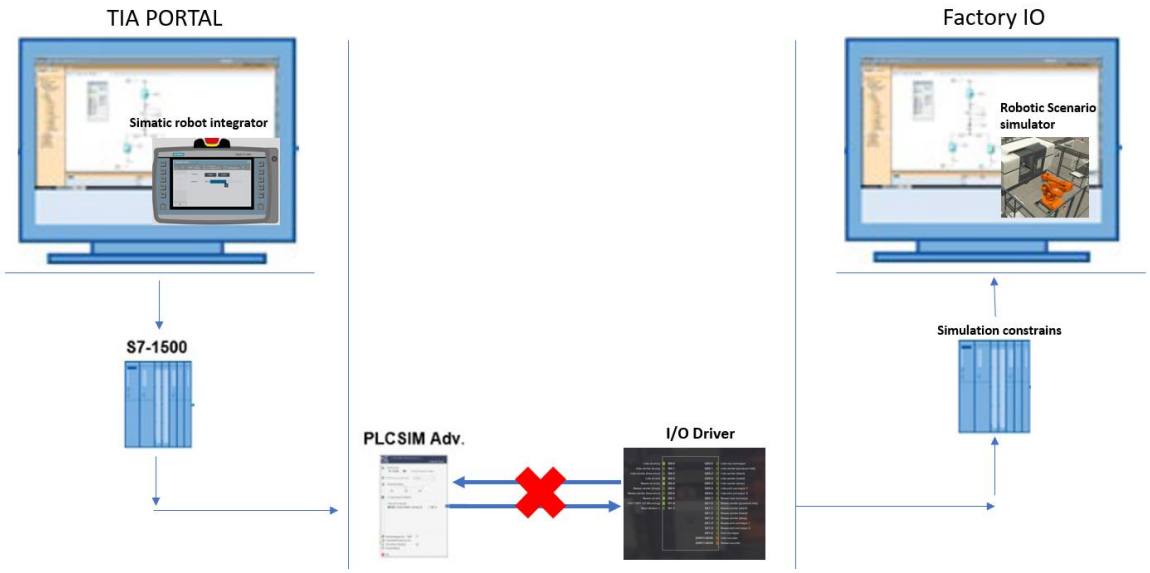


Fig. 4.9 Schema conceptuală pentru Comunicația TIA Portal - Factory IO

După realizarea mapării cu semnale și a comunicației au fost constatate următoarele aspecte privind limitele din interfața utilizator a programului Factory IO.

1. Semnalele se generează automat în interfața „Sensors and Actuators” în urma adăugării în scenă a echipamentelor de tip senzori sau actuatori.

2. Se pot aloca adrese pentru fiecare semnal.

3. Factory IO este compatibil cu simulatoarele PLC de la diferiți producători (Schneider, Siemens, Allen Bradley, etc.)

4. Pentru partea de componente Siemens, Factory IO se poate conecta cu procesoare fizice din gama S7-200/300/400-1200-1500 și S7-PLCSIM [D42]. În „drop-down list" din interfața utilizatorului, nu se găsește PLCSim Adv.

5. Programul Factory IO nu dispune de posibilitatea de import de semnale. Toate semnalele necesită adăugare manuală, acțiune care nu este indicată pentru scenarii care conțin celule robotizate care pot ajunge cu ușurință la sute de semnale.

Factory IO este un program de punere virtuală în funcțiune (VC) care nu poate realiza mapări de semnale generate în urma prezențelor de mișcări ale componentelor mecanice complexe. Nu se pot importa elemente CAD. Se poate lucra doar cu bibliotea proprie de echipamente și componente.

4.7 Concluzii

Concluzii și contribuții teoretice

1. Analiza integrărilor realizate confirmă faptul că ecosistemul **Siemens** (Simatic Robot Integrator, Mechatronic Concept Designer, TIA Portal) oferă soluții native de tip **Click-to-Connect**, care simplifică schimbul de semnale și reduc efortul de configurare manuală, dar aceste beneficii se aplică exclusiv în cadrul mediilor Siemens.
2. Au fost evidențiate diferențele între standardele de comunicație industrială prin testarea interoperabilității cu platforme externe, precum **ABB RobotStudio** sau **Factory IO.** Acestea necesită configurări suplimentare, mapări manuale ale semnalelor și dezvoltarea unor mecanisme dedicate de „Handshake".
3. Limitările tehnice ale Factory IO (imposibilitatea importului de semnale, lipsa compatibilității cu PLCSim Advanced, biblioteca restrânsă de echipamente) arată că soluțiile de punere virtuală în funcțiune nu sunt încă pe deplin mature pentru scenarii complexe de robotică industrială, iar platforma Factory IO nu prezintă minimul necesar de compatibilitate pentru a putea fi integrat cu Siemens.
4. Cercetările din Teză contribuie la fundamentarea teoretică a conceptului de Virtual Commissioning (VC), demonstrând atât avantajele integrării platformelor native, cât și provocările datorate interoperabilității între producători diferiți, aspecte care pot ghida dezvoltările viitoare.

Concluzii și contribuții aplicative

1. A fost conceput și pus în funcțiune un **Teach-pendant virtual** pentru SRI implementat ca ecran HMI, care poate substitui hardware-ul dedicat în faza de testare și validare.
2. Integrarea dintre TIA Portal și Siemens MCD a fost validată prin utilizarea PLCSim Advanced 2.0, demonstrând avantajele integrării între platformele native de producător.

3. Testele cu **Factory IO** au scos în evidență atât compatibilitatea extinsă cu procesoare PLC fizice și simulatoare de la mai mulți producători, cât și limitările sale în scenarii robotizate complexe (ex.: maparea manuală a semnalelor, imposibilitatea importului CAD)
4. Rezultatele practice consolidează rolul SRI ca instrument de integrare rapidă în ecosistemul Siemens, dar confirmă totodată faptul că interoperabilitatea cu platforme non-Siemens necesită resurse suplimentare de configurare și testare.
5. A fost realizată o metodologie originală pentru evaluarea și compararea soluțiilor de punere virtuală în funcțiune, validată prin testele experimentale între Factory IO și platformele Siemens, care a condus la determinarea limitelor platformelor și a avantajelor metodologiei.

Capitolul 5. CONTRIBUȚII PRIVIND APLICAREA CONCEPTELOR DE PUNERE ÎN FUNCȚIUNE VIRTUALĂ ÎN MEDIILE DE LUCRU TIA PORTAL și ABB ROBOTSTUDIO PRIN OPC SERVER

5.1 Introducere

Capitolul 5 prezintă contribuțiile aplicative privind interconectarea funcțională între TIA Portal și ABB RobotStudio printr-un server Open Platform Communications (OPC), demonstrând fezabilitatea integrării platformelor de control și simulare ale producătorilor diferiți într-un sistem unitar de punere virtuală în funcțiune. Cercetarea se concentrează pe configurarea și parametrizarea TIA Portal pentru compatibilitatea cu serverul OPC și pe dezvoltarea unei punți de comunicație bidirecțională, precum și pe setările controllerului virtual în ABB RobotStudio. Sunt detaliate etapele de testare și monitorizare a semnalelor transmise între cele două medii, cu atenție la fidelitatea datelor, latența comunicației și robustețea conexiunii. Această abordare validează un model de integrare flexibil, aplicabil și altor scenarii industriale.

În Fig. 5.1 sunt prezentate grafic principalele etape și obiectivele realizate în Capitolul 5.

- Configurarea și parametrizarea TIA Portal în scopul stabilirii compatibilității cu OPC serv.;
- Configurarea și parametrizarea ABB RS în scopul stabilirii compatibilității cu OPC serv. ;
- Configurarea, parametrizarea și stabilirea comunicației de tip „handshake” între TIA Portal și ABB RobotStudio prin OPC server;
- Testarea și supravegherea semnalelor trimise din RobotStudio în TIA Portal;

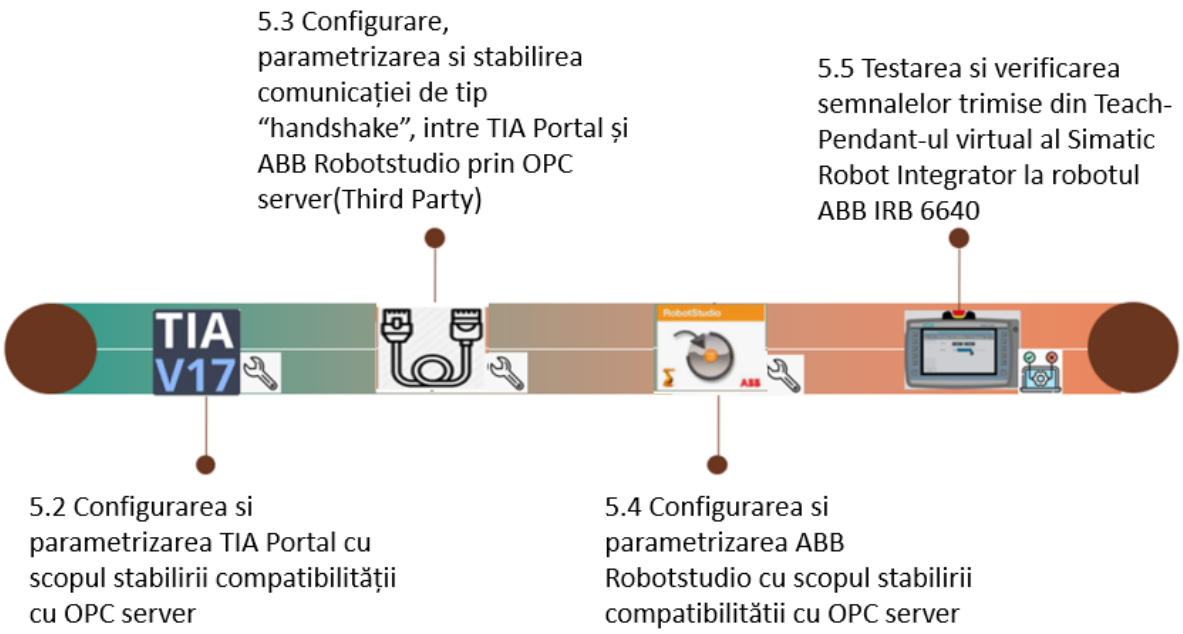


Fig. 5.1 Schemă de tip roadmap a obiectivelor Capitolului 5

5.2 Configurarea și parametrizarea Tia Portal în scopul stabilirii compatibilității cu OPC server

În Figura 5.2 este ilustrată grafic la nivel de principiu diferența dintre datele exportate din TIA Portal și cele importate în ABB RobotStudio, cu transformările necesare în scopul compatibilizării datelor.

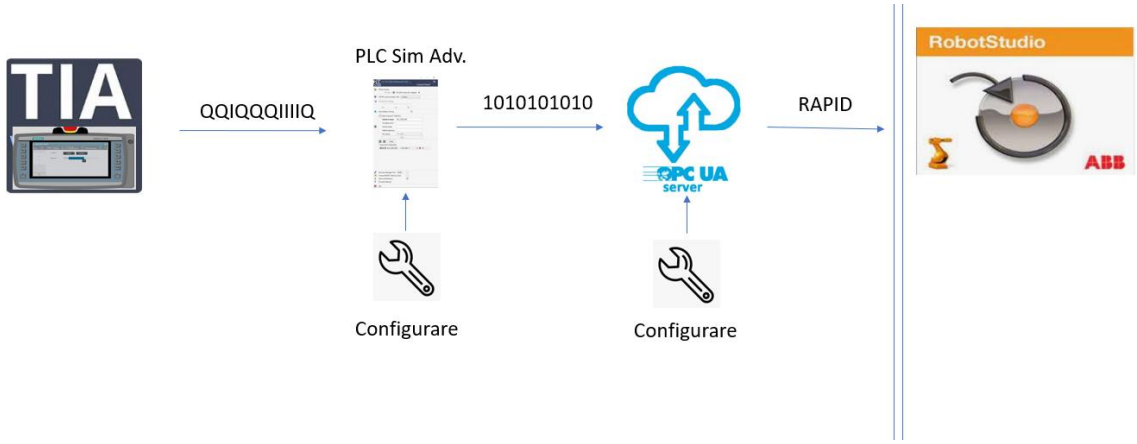


Fig. 5.2 Reprezentarea schematică pentru configurare

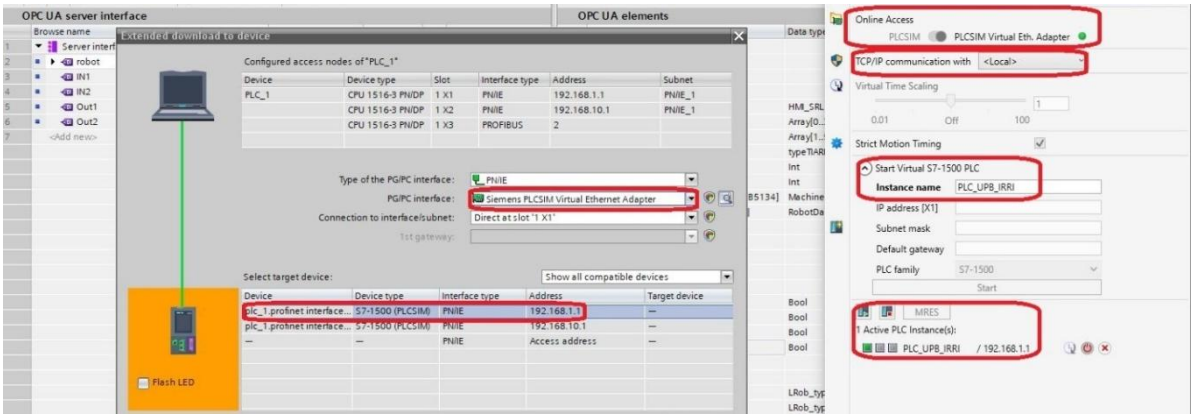


Fig. 5.3 Setarea PLC SIM Advance

Etapele procedurii includ stabilirea eligibilității procesoarelor, alocarea adreselor și porturilor și configurarea protecțiilor pentru adăugarea semnalelor în testare. TIA Portal trebuie configurat pentru a comunica printr-un server OPC, implicând eliminarea restricțiilor, activarea opțiunii „Support simulation during block compilation” și alocarea adreselor IP și a porturilor, de exemplu IP 192.168.1.1 și port 4840. Integrarea OPC Server permite expunerea variabilelor PLC către aplicații și sisteme externe, asigurând comunicația standardizată între echipamentele de control și software-ul de nivel superior. CPU-ul selectat pentru test a fost 1516-3 PN/DP V2.9, compatibil cu OPC UA și cu TIA Portal V17, suportând conexiuni multiple și gestionarea certificatelor de securitate. Implementarea OPC Server presupune adăugarea manuală a semnalelor IN1, IN2, OUT1 și OUT2 corespunzătoare adreselor I0.0, I0.1, Q0.0 și Q0.1. PLCSIM Advance și adaptorul virtual Ethernet permit stabilirea comunicației (Fig 5.3) TCP/IP de tip „Local” între TIA Portal și ABB RobotStudio cu configurarea interfeței PG/PC ca PN/IE și alocarea slotului x1 ca subnet.

5.3 Conceperea și testarea unei punți de conectare folosind instrumente și programe asociate platformelor de lucru

A fost dezvoltat un set de instrumente (Fig 5.4) pentru integrarea unui robot colaborativ UR3e (simulat sau real), ROS2 Humble, driverul UR ROS2 și MATLAB/Simulink Robotics. Pe o mașină Linux Ubuntu 64-bit, se lansează o imagine Docker de la Universal Robots care include driverul ROS2 sub forma unui URCap, iar rularea se inițiază printr-o comandă externă. Driverul ROS2 permite comunicația între ROS2 și MATLAB/Simulink, folosind blocuri pentru interfețele ROS2 și decodarea mesajelor pentru subiectele relevante: /scaled_joint_trajectory_controller, /joint_trajectory, /joint_states. Traiectoriile robotului sunt transmise prin mesaje de tip trajectory_msgs/msg/JointTrajectory, care includ poziții, viteze, accelerații și tensiuni în articulațiile robotului. Pentru simulare sau control real, utilizatorul se conectează la mediul Docker prin VNC sau alt instrument de acces de la distanță. Traiectoriile pot fi definite direct prin unghiurile articulațiilor sau prin poziția

gripperului folosind cinematica inversă și rigidBodyTree generat în MATLAB. Fișierele suplimentare, inclusiv URDF pentru instrumente, pot fi încărcate din arhivele disponibile. Programul Polyscope 5.12 rulează comanda de control extern, iar robotul începe din poziția inițială definită în parametrii inițial_positions.yaml.

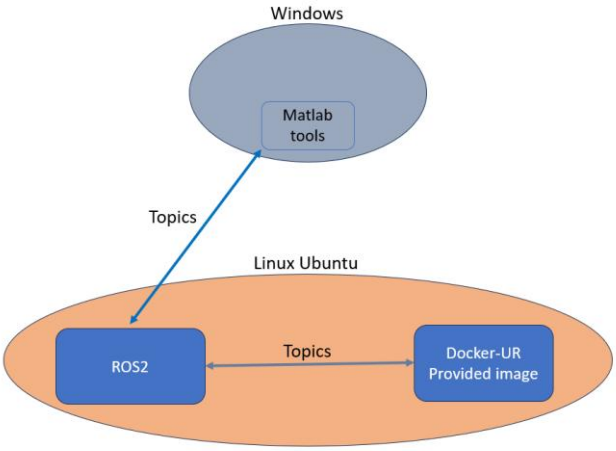


Fig. 5.4 Diagrama de componente a punții de conectare create

5.4 Configurarea și parametrizarea ABB RobotStudio pentru realizarea compatibilității cu OPC Server. Configurarea controllerului virtual

În schema din Fig. 5.5 se poate observa la nivel de principiu configurarea și pregătirea comunicației la nivelul fiecărui element component.

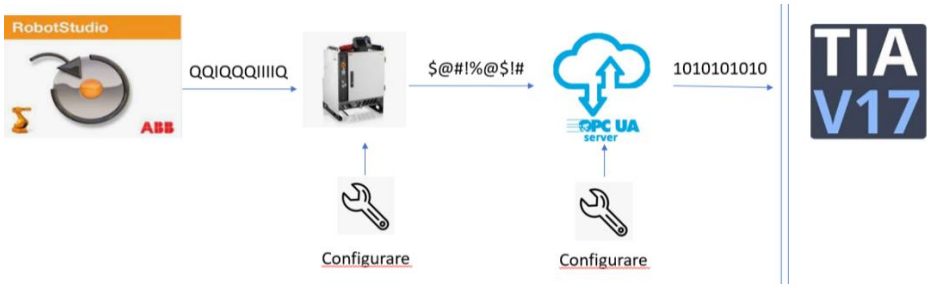


Fig 5.5 Schema pentru configurarea RobotStudio

Controllerul virtual trebuie configurat după definirea stației și a robotului. În categoria „Communication” a parametrilor controllerului a fost selectată opțiunea 616-1-PC Interface, necesară pentru comunicația OPC client din RobotStudio către serverul TIA Portal [E50][E51]. Pentru realizarea comunicației, în RobotStudio a fost adăugat smart componentul OPC Client, alocat adresei „opc.tcp://localhost:4840” [E52]. Blocurile RSConnectDIO și RSConnectGIO permit comunicația bit cu bit și, respectiv, byte cu byte, legând semnalele între controllerul virtual și simulator [E53]. Configurarea blocurilor RSConnect implică

alocarea adresei plăcii de rețea (192.168.0.244), rack-ului PLC (0) și slotului PLC (1), precum și definirea adreselor pentru fiecare bit de intrare (M0.1, M0.2 etc.) și ieșire (M1.0, M2.0 etc.), configurări care trebuie să corespundă și în interfața NETtoPLC.

5.5 Testarea și supravegherea semnalelor trimise între RobotStudio și Tia Portal

Pentru realizarea comunicației și vizualizarea schimbului de semnale se utilizează portul 102, iar placa de rețea selectată este placa virtuală Ethernet generată de PLCSim Advance. Adresa PLCSim trebuie detectată automat în lista de plăci disponibile, ceea ce necesită ca simulatorul să fie online. După setarea plăcii și îndeplinirea condițiilor de detecție, se pornește monitorizarea, iar semnalele, cum ar fi biții M1.0 și M0.1, sunt transmise către TIA Portal în regim „online”(Fig 5.7).

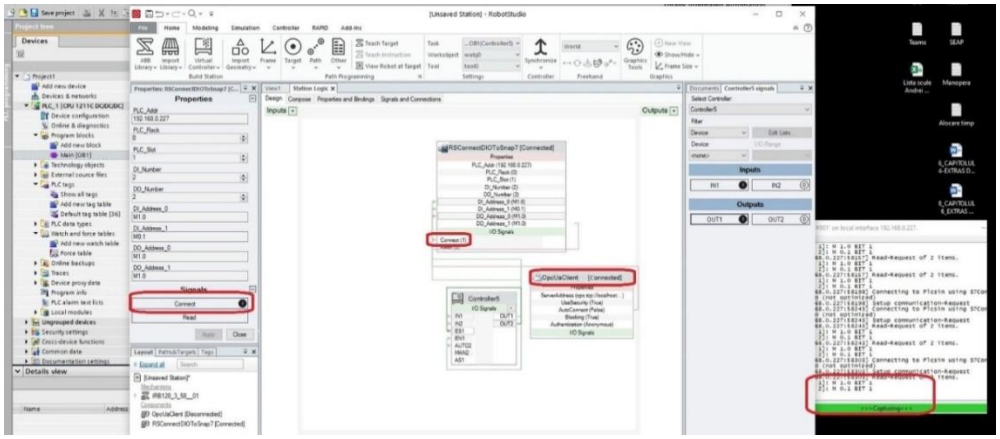


Fig. 5.7 Testarea condițiilor de comunicație ale simulatorului

5.6 Concluzii

Concluzii și contribuții teoretice

1. A fost realizată comunicația bazată pe standardul OPC care confirmă rolul esențial al acestuia ca interfață comună pentru integrarea platformelor de automatizare provenite de la producători diferiți, validând literatura privind interoperabilitatea și deschiderea sistemelor industriale.
2. Configurarea și parametrizarea mediilor TIA Portal și ABB RobotStudio au evidențiat importanța respectării cerințelor tehnice specifice fiecărei platforme pentru asigurarea compatibilității, demonstrând că interoperabilitatea nu este doar dependentă de protocol, ci și de arhitectura software și hardware utilizată.
3. Analiza transferului de date a arătat că latența și fidelitatea transmiterii semnalelor sunt factori critici în cadrul proceselor de punere virtuală în funcțiune, confirmând că simularea industrială necesită atât standarde open-source, cât și optimizarea configurărilor la nivel de resurse software și hardware.

4. Limitările identificate în configurarea controllerului RobotStudio și în gestionarea semnalelor prin OPC subliniază nevoia de dezvoltare continuă a soluțiilor de integrare, aspect ce poate fundamenta direcții viitoare de cercetare pentru extinderea interoperabilității în scenarii industriale hibride.

Concluzii și contribuții aplicative

1. A fost demonstrată fezabilitatea tehnică a integrării funcționale între TIA Portal și ABB RobotStudio prin intermediul unui server OPC, cu stabilirea unei comunicații de tip „Handshake” și monitorizarea semnalelor bidirecționale.
2. Implementarea practică a scos în evidență o serie de bune practici:
   - eligibilitatea procesoarelor din TIA Portal pentru transfer OPC este o condiție obligatorie;
   - serverul OPC trebuie activat cu acces deplin, iar protecțiile dezactivate pentru a permite schimbul de date;
   - utilizarea plăcii virtuale PLCSim Adaptor Ethernet este indispensabilă în simulările Siemens;
   - controllerul RobotStudio necesită configurări suplimentare și utilizarea unor componente software externe („smart component”) pentru gestionarea intrărilor și ieșirilor.
3. Testele efectuate au evidențiat robustețea conexiunii, dar și posibile limitări: interfața RobotStudio poate genera erori și blocaje în cazul unor transferuri complexe, ceea ce impune măsuri de supraveghere și optimizare a fluxului de date.
4. Contribuția practică adusă prin acest demers constă în furnizarea unui model de integrare flexibil pentru punerea virtuală în funcțiune, cu potențial de extindere la alte medii industriale, consolidând utilitatea protocolului OPC în proiectele de automatizare.

Capitolul 6. PUNEREA VIRTUALĂ ÎN FUNCȚIUNE A ROBOȚILOR COLABORATIVI. INTEGRAREA BLOCKCHAIN

6.1 Introducere

Capitolul 6 explorează alte direcții de cercetare în punerea virtuală în funcțiune (VC) a sistemelor robotizate, cu accent pe roboții colaborativi (cobots) și pe integrarea tehnologiei blockchain în arhitecturi de control industrial distribuit. Sunt analizate platformele Schneider Electric, inclusiv EcoStruxure Cobot Expert și Machine Expert Virtual Commissioning, cu evaluarea interoperabilității software între furnizori diferiți și a capabilităților pentru programarea, simularea și integrarea roboților colaborativi. Capitolul evidențiază limitările hardware și software, cum ar fi selecția restrânsă de componente și dificultățile de integrare în afara ecosistemului propriu, precum și provocările comunicației eficiente și sigure între

componente. Se subliniază nevoia unui mediu unificat de programare care să gestioneze mai multe tipuri de roboți colaborativi printr-o singură interfață.

6.2 EcoStruxure Cobot și Machine Expert

Platforma Cobot Expert oferă instrumente grafice și funcționalități drag-and-drop pentru programarea și gestionarea sarcinilor roboților colaborativi, inclusiv planificarea cinematică și optimizarea traiectoriilor [F60-61]. Este compatibilă doar cu seria Lexium, ceea ce limitează aplicabilitatea în medii multi-vendor. Software-ul suportă punerea virtuală în funcțiune (VC) reducând timpul de configurare și se integrează cu Machine Expert pentru controlul mașinilor, monitorizarea performanței și mentenanța predictivă, respectând standardele ISO 10218 și ISO/TS 15066. Funcționalitățile principale includ programare și simulare offline, optimizarea programelor robotice, scalabilitate și flexibilitate, precum și testarea sarcinilor în simulări virtuale [F62–65].

Machine Expert permite programarea și configurarea sistemelor de automatizare la nivel de mașină, integrând controlul logic, controlul mișcării, interfețe HMI și rețele industriale, fiind compatibil cu seriile Modicon M241, M251, M262 și PacDrive LMC [F66-67]. Suportă limbaje IEC 61131-3, comunicații OPC DA/UA, baze de date SQL, scripturi Python și controlul versiunii codului sursă. Platforma include module opționale pentru configurarea axelor de mișcare (Fig. 6.1), logica de siguranță și un mediu de punere virtuală în funcțiune prin Expert Twin, care creează Digital Twins pentru simulare și testare [F68-69].

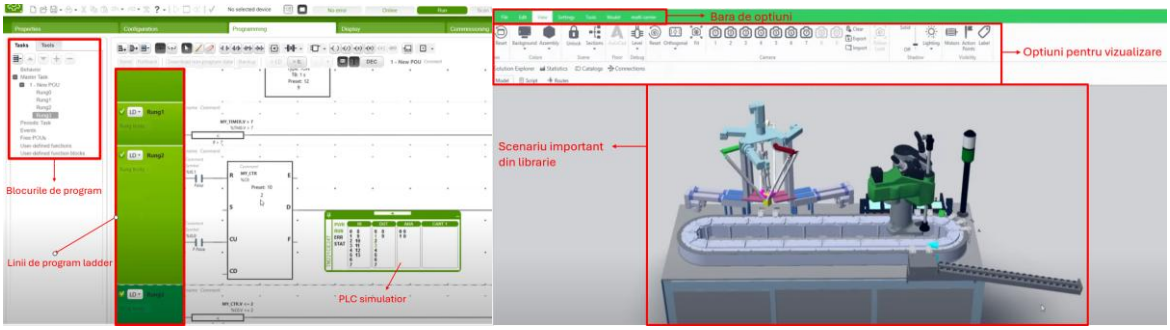


Fig. 6.1 Interfața EcoStruxure Machine Expert Twin

Din punct de vedere hardware, roboții colaborativi Lexium utilizează controllere standard, compacte (≈300×200×50 mm), fără teach pendant dedicat, controlul realizându-se printr-o tabletă compatibilă cu Machine Expert. Tableta poate fi andocată într-un docking station cu funcții de siguranță integrate, iar sistemul include și interfața Mini-control pentru operații de bază. Această configurație permite integrarea facilă în ecosistemul existent și optimizarea punerii virtuale în funcțiune (VC) a roboților Lexium.

6.3 Tehnologia blockchain în robotica industrială

Tehnologia blockchain poate susține trasabilitatea, coordonarea autonomă și înregistrările imuabile de mentenanță pentru roboți industriali, prin contracte inteligente și înregistrări securizate. Roboții integrați în rețele blockchain pot valida originea componentelor, partaja sarcini și asigura conformitatea în industrii reglementate, contribuind și la securitatea cibernetică prin identificarea verificată și actualizări securizate ale firmware-ului. Deși există provocări legate de latență, scalabilitate și integrare, proiectele pilot folosind ROS 2 și Hyperledger Fabric arată fezabilitatea convergenței între blockchain și robotică.

Roboții colaborativi Schneider Lexium nu oferă suport nativ pentru blockchain sau alte tehnologii IIoT, însă studiile academice [F70-71] demonstrează integrarea ROS 2 cu contracte inteligente pentru controlul și înregistrarea securizată a datelor. Alte exemple includ ABB, care aplică blockchain pentru tranzacții de energie și transparența lanțului de aprovizionare prin ABB Ability [F72] și Stäubli, care monitorizează flote de roboți și susține mentenanța preventivă prin platforma SCOPE. În prezent, Lexium se bazează pe metode tradiționale de control și programare cu PLC-uri, iar implementarea blockchain necesită middleware extern și nu API-uri proprietare.

6.4 Propunere privind strategia implementării

În cadrul propunerii originale de implementare (Fig. 6.4), s-a creat o celulă robotică virtuală compusă dintr-un Lexium RL3, un end-effector Schunk și un suport pentru cobot. Pașii principali au fost: selectarea bazei experimentale hardware și software, parametrizarea Digital Twin în Twin Expert și scrierea programului și a traiectoriei cobotului în Cobot Expert. Integrarea PLC-ului și a cobotului în Machine Expert; Proiectarea programului PLC pentru controlul cobotului; Conversia codului FBD în Ladder; Configurarea hardware și software a PLC-ului, a cobotului și a gripperului; Gestionarea și parametrizarea semnalelor; Identificarea limitărilor platformei. Această abordare permite evaluarea limitelor platformei Schneider Electric pentru punerea virtuală în funcțiune (VC) și identificarea configurațiilor necesare.

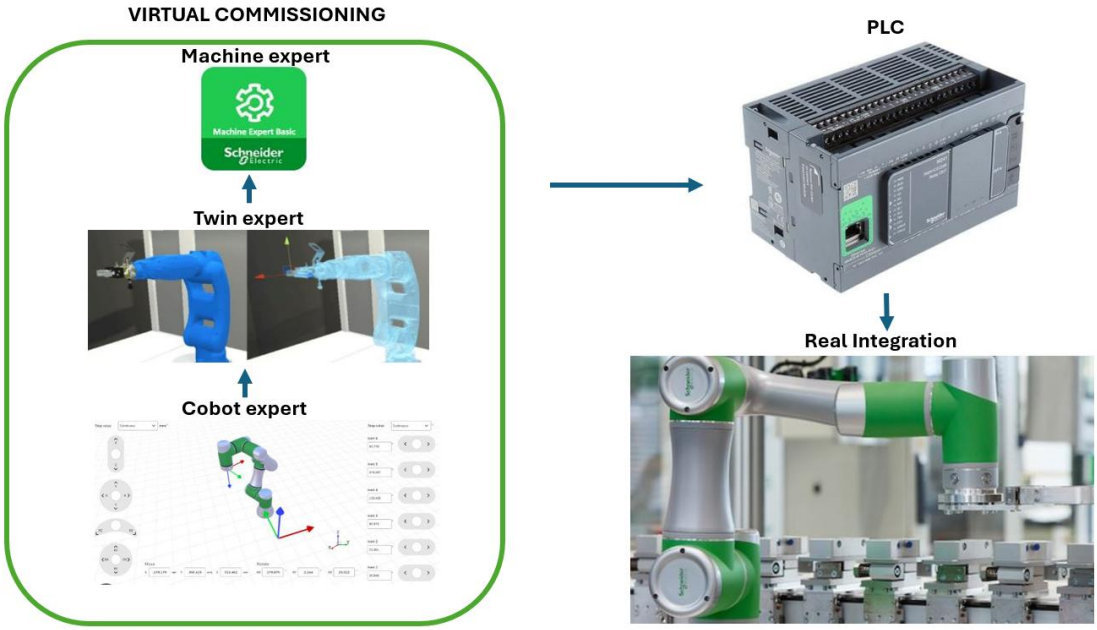


Fig. 6.4 Modelul conceptual pentru tehnologia blockchain aplicată

Echipamentele utilizate au fost: Cobot Lexium RL3, Controller Lexium LXMRL07C1000, Cobot Expert v1.7.0.48, Machine Expert Basic Trial cu Twin Expert.

În Machine Expert a fost configurat un procesor virtual TM241CE24R, cu semnalele necesare pentru operațiile robotului virtual. A fost lansat Expert Twin, selectat RL3 și adăugat un suport virtual pentru montare. Din biblioteca disponibilă s-a ales gripperul vacuumatic Schmalz. Biblioteca de end-effectori este limitată, iar personalizarea manuală necesită cunoștințe avansate.

În Cobot Expert s-au definit traiectoriile robotului, stabilind parametrii operaționali: capacitatea de încărcare, viteza, accelerația, orientarea de montare și centrul de greutate. Programul principal controlează mișcarea și traiectoria cobotului. Mediul de programare combină elemente grafice și cod manual, permițând ajustarea comportamentului robotului și definirea traiectoriilor. Programul PLC a fost dezvoltat în Machine Expert pentru gestionarea celulei robotizate și integrarea cu linia principală. Comunicația între PLC și cobot se realizează prin protocolul MODBUS, utilizând modulul Twin Expert pentru integrarea traiectoriei și logicii definite în Cobot Expert.

Observații cheie și limitări în simulatorul Machine Expert

- **Restricții în fluxul de comunicație în timpul configurării.** Deși robotul fizic poate fi conectat direct la Cobot Expert prin funcția „Click to Connect”, iar Cobot Expert poate interfața cu Twin Expert, nu este asigurată o conexiune directă între cobotul real și Twin Expert. Această limitare impune ca toate configurațiile, chiar și cele salvate anterior, să treacă

prin Cobot Expert, ceea ce adaugă o complexitate inutilă și reduce eficiența în implementarea sau actualizarea programelor robotului.

- **Probleme de compatibilitate a modelelor între platforme.** Utilizatorii pot importa în Machine Expert modele prestabilite de Digital Twin pentru cobot, gripper sau alte componente standard, cum ar fi transportoarele. Totuși, modele personalizate, configurate complet în Twin Expert, nu pot fi importate direct în Machine Expert. Modelul trebuie reconstruit manual în Machine Expert, ceea ce limitează flexibilitatea și continuitatea fluxului de lucru între platforme.
- **Performanța programului PLC virtual.** Programul PLC dezvoltat în Machine Expert controlează cu succes aplicația virtuală în timp real, operând cu precizie și stabilitate. Simularea rulează fără erori și este optimizată robust, ceea ce indică faptul că platforma este foarte potrivită pentru crearea și testarea logicii de control în timp real într-un mediu virtual, înainte de implementarea fizică efectivă.

6.5 Concluzii

Studiul de caz prezintă un mediu de Punere virtuală în funcțiune (VC) realizat cu ajutorul platformelor software industriale oferite de Schneider Electric, precum Machine Expert și Cobot Expert. Cercetarea evidențiază și completează mai multe limitări și lacune în soluțiile actuale de VC pentru roboți colaborativi din ecosistemul Schneider, în ciuda poziției puternice a companiei în domeniul automatizării industriale.

Observații cheie:

- Mediul de programare hibrid, care combină elementele de programare grafică și cele de cod scris este accesibil și utilizatorilor cu cunoștințe limitate de programare.
- Programarea traiectoriei și a mișcării este simplificată prin instrumentele vizuale drag-and-drop.
- Necesitatea utilizării a două medii software diferite (Twin Expert și Machine Expert) pentru modelare și implementare afectează continuitatea fluxului de lucru.
- Experiența optimă este obținută în cadrul ecosistemului Schneider; ieșirea din acesta crește complexitatea.

Limitări majore identificate ale integrării VC folosind platformele Schneider Machine Expert și Schneider Cobots Expert:

- Biblioteca integrată conține un număr redus de roboți și end-effectori (doar câteva opțiuni).
- Flexibilitatea limitată pentru componentele robotice personalizate sau variate.
- Roboții reali nu pot comunica direct cu Twin Expert, fiind necesară o conexiune intermediară prin Cobot Expert.
- Modelele Digital Twin create complet în Twin Expert nu pot fi importate în Machine Expert, necesitând o reconstrucție manuală.
- Configurarea componentelor personalizate solicită cunoștințe avansate de programare.

Avantajele integrării VC folosind platformele Schneider Machine Expert și Schneider Cobots expert:

- Integrarea facilă cu alte instrumente Schneider precum Machine Expert, PLC-urile Modicon și Twin Expert, oferind control unificat automatizării.
- Modelele predefinite de roboți și componente permit prototiparea rapidă.
- Instrumentele integrate de simulare permit previzualizarea și validarea în timp real a comportamentului cobotului.
- Suport pentru limbajele standard IEC 61131-3 (ST, FBD, LD etc.), încurajând standardizarea.

Capitolul 7. CONCLUZII FINALE, CONTRIBUȚII ORIGINALE, DISEMINAREA REZULTATELOR CERCETĂRILOR ȘI DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

7.1 Concluzii finale

Teza de doctorat crează un mediu virtual de punere în funcțiune (VC) care utilizează platforme software industriale disponibile de la companii de vârf din industrie, cum ar fi ABB și Siemens.

Principalele contribuții origonale ale Tezei de doctorat sunt găsirea soluțiilor privind controlul roboților cei mai folosiți în industrie, de la companiile ABB și Fanuc, folosind cea mai importantă interfață unificată a momentului, Simatic Robot Integrator și evidențierea limitărilor și a lacunelor actuale în domeniul punerii în funcțiune virtuale pentru roboții industriali. Pentru aceste lacune în Teza de doctorat a fost concepută o soluție originală de punere virtuală în funcțiune utilizând medii de lucru concurențiale de la ABB si Siemens. Teza de doctorat evidențiază, de asemenea, absența unor categorii semnificative de roboți cu arhitectură dublu portal din portofoliul marilor producători, precum ABB și Güdel, în cadrul mediilor de punere în funcțiune virtuală atunci când este utilizat un controller ABB. Cercetările realizate au demonstrat, totodată, că aceste limitări scot în evidență existența unei competiții intense între principalii furnizori de soluții de punere virtuală în funcțiune. Lucarea a rezolvat, într-un mod original, problema controlului roboților, depășind aceste limitări.

Rezultatul final al prezentei cercetări teoretice și aplicative din Teza de doctorat este o rezolvare stabilă și fiabilă pentru efectuarea activităților de VC pentru utilizatorii industriali. Ea permite integrarea produselor dezvoltate de ABB și Siemens. Adresabilitatea acestei soluții originale este extrem de largă în ceea ce privește utilizatorii industriali, în comparație cu alte rezolvări de integrare hibridă găsite pe piață, cum ar fi Beckhoff și Virtual Universe PRO. Utilizatorul poate beneficia în egală măsură de **soluția hibridă dezvoltată** fără a investi în achiziționarea de licențe NX MCD sau, respectiv, alte produse software care permit conectarea ABB RobotStudio cu TIA Portal, la costuri de investiție ridicate.

Soluția hibridă dezvoltată în Teza de doctorat deschide și alte perspective pentru cercetare, cu costuri minime de investiție, datorită soluțiilor open-source furnizate de ABB și Siemens.

Limitele Tezei de doctorat sunt următoarele: configurația dedicată transmiterii datelor de la interfață la robot ar putea fi îmbunătățită pentru a fi mai ușor de utilizat; comunicația necesită programare de către utilizator și abilități de rețea; absența comenzii rapide „Click to connect", care ar putea face automat conexiunea între biții de ieșire și biții de intrare în blocuri. Soluția poate fi dezvoltată în continuare pentru a fi mai puțin dependentă de modificările robotului, PLC-ului sau ale interfeței de comandă.

De asemenea, sunt necesare câteva elemente de ghidare în cadrul interfeței pentru a ajuta utilizatorul final să seteze sarcinile și să comunice sau să primească date.

Cercetările viitoare se pot concentra pe dezvoltarea unei aplicații care funcționează ca o interfață „Click-to-connect", care să proceseze și să permită schimbul de date între medii software de la diferiți producători, cum ar fi ABB sau Fanuc. Pentru acest demers sunt necesare blocuri sursă care să faciliteze comunicația. Scopul este de a crea o aplicație care să ofere, prin configurații și parametrizări minime, o legătură prin care sarcinile și răspunsurile pot fi trimise și, respectiv, citite.

CONTRIBUȚIILE ORIGINALE

În continuare sunt prezentate obiectivele specifice ale Tezei de doctorat care decurg din fiecare obiectiv principal, sincronizate cu contribuțiile originale ale autorului (Tabelele 7.1-7.7).

Tabelul 7.1 Obiective specifice și contribuții pentru OM1

OM1. Analiza și sinteza stadiului actual al cercetărilor pentru punerea virtuală în funcțiune (VC)	
OS1.1 Cercetări privind amploarea și importanța realizării punerii virtuale în funcțiune în procesele de producție	✓ S-a studiat integrarea VC în procesele de producție;
OS1.2 Sinteza stadiului actual al cercetărilor în domeniul punerii virtuale în funcțiune	✓ S-au identificat direcțiile de cercetare privind îmbunătățirea punerii virtuale în funcțiune; ✓ S-au identificat metodele abordate până în prezent de îmbunătățire a punerii virtuale în funcțiune.
OS1.3 Sinteză privind programele dedicate care se recomandă la punerea virtuală în funcțiune	✓ A fost realizată o analiză originală a platformelor dedicate oferite de furnizori aflați în

	competiție.

Tabelul 7.2 Obiective specifice și contribuții pentru OM2

OM2 - Stabilirea funcționalităților importante din programele actuale care vor fi folosite în Teză	
OS2.1 Selectarea modelului de robot pentru care se realizează punerea virtuală în funcțiune (VC)	✓ S-au analizat arhitecturile generale de RI și s-a identificat tipul de robot urmează a fi analizat; ✓ A fost realizată selectarea modelului și a tipodimensiunii de RI de la un anumit producător.
OS2.2 Stabilirea programelor software în concordanță cu aplicațiile identificate în OS1.3	✓ A fost realizată analiza programelor software de la diferite companii;
OS2.3 Selectarea programelor software pentru care se realizează comunicația pentru VC	✓ A fost realizată analiza comunicațiilor din diferite software-uri; ✓ A fost realizată/analizată procedura de realizare a comunicațiilor;

Tabelul 7.3 Obiective specifice și contribuții pentru OM3

OM3 - Identificarea lacunelor din cercetările actuale și a problemelor nerezolvate în domeniul punerii virtuale în funcțiune (VC)	
OS3.1 Selectarea principalelor studii din industrie care tratează limitările VC	✓ A fost realizată o analiză originală a limitelor principalelor platforme de integrare a conceptului de VC
OS3.2 Stabilirea metodologiei de abordare a aplicării conceptului de VC	✓ Au fost identificate clar căile de acces pentru transferul de date între platforme

Tabelul 7.4 Obiective specifice și contribuții pentru OM4

OM4 - Conceptul virtual al controlului prin intermediul unui dispozitiv de teach-pendant pentru simularea roboților în SRI prin parametrizarea modelului grafic sub forma unui ecran din interfața HMI	
OS4.1 Selectarea tipurilor de roboți disponibili în bibliotecile Simatic Robot Integrator	✓ S-au analizat cele 3 tipuri de roboți existenți în interfață: furnizorii consacrați, arhitectura de robot sau robot definit de operator;

OS4.2 Implementarea ecranelor HMI pentru a înlocui interfața de control fizic a integratorului de roboți Simatic	✓ Au fost realizate ecrane grafice precum cel de JOGframe, Tool Overview sau Config soft end.

Tabelul 7.5 Obiective specifice și contribuții pentru OM5

OM5 - Stabilirea comunicației și parametrizarea în Simatic Robot Integrator a codului de control din TIA Portal cu modele CAD simulate în Siemens MCD	
OS5.1 Exporturile de semnale din TIA Portal și importul în MCD, cu limitări în interfața cu utilizatorul a importurilor de semnale	✓ Au fost configurate Simulatorul avansat în TIA Portal și semnalele externe în Siemens MCD
OS5.2 Stabilirea de legături (Handshake) între semnalele preluate de la PLCSim Advanced și semnalele generate de MCD	✓ A fost realizată verificarea și testarea schimbului de semnale
OS5.3 Configurarea și parametrizarea TIA Portal cu scopul de a stabili compatibilitatea cu serverul OPC	✓ A fost stabilită eligibilitatea procesoarelor. Alocarea IP-ului și a portului și configurarea protecțiilor în scopuri de testare ✓ A fost realizată activarea nivelului maxim de accesibilitate și eliminarea protecției finale; ✓ A fost realizată activarea accesibilității serverului OPC și a serverului Simatic și a alocării portului și IP-ului;
OS5.4 Proiectarea unei punți de conexiune cu ajutorul unor instrumente externe pentru a realiza comunicația între RobotStudio și Simatic Robot Integrator	✓ A fost realizată adăugarea manuală de semnale în serverul OPC în cadrul TIA Portal;

Tabelul 7.6 Obiective specifice și contribuții pentru OM6

OM6 - Testarea și verificarea integrării SRI cu medii de punere virtuală în funcțiune care nu sunt compatibile cu Siemens.
A 6.1 A fost realizată verificarea și testarea integrării SRI cu Factory IO

Tabelul 7.7 Obiective specifice și contribuții pentru OM7

OM7 - Conceperea și testarea unei punți de conexiune cu ajutorul unor instrumente externe pentru a realiza o comunicație suplimentară între ABB RobotStudio și Simatic Robot Integrator	
OS7.1 Testarea unei punți de conexiune cu ajutorul unor instrumente externe pentru a realiza comunicația între RobotStudio și Simatic Robot Integrator	✓ A fost realizată trimiterea de mesaje cu subiect ROS2 prin Simulink către driverul robotului
OS7.2 Configurarea și parametrizarea ABB RobotStudio cu scopul de a stabili compatibilitatea cu serverul OPC	✓ A fost realizată configurarea stației de control virtuale pentru a permite comunicația;
OS7.3 Parametrizarea și configurarea blocurilor adaptorului de intrare și ieșire RSconnect	✓ A fost realizată adăugarea și configurarea blocului de comunicație al componentei inteligente a clientului OPC;
OS7.4 Stabilirea comunicației dintre TIA Portal și RobotStudio prin intermediul blocurilor de comunicație din RobotStudio	✓ A fost realizată testarea și monitorizarea semnalelor trimise de la RS la TIA;

7.2 Contribuții originale

Activitatea de cercetare și procesul de elaborare a tezei de doctorat au generat o serie de contribuții originale teoretice, metodologice și cu aplicabilitate practică ale autorului, care pot fi grupate după cum urmează:

Contribuții teoretice aferente Capitolelor 1 și 2

- Sintetizarea coerentă și completă a limitelor pe care le prezintă principalele platforme de dezvoltare pentru punerea virtuală în funcțiune (VC) ale furnizorilor Siemens și ABB.
- Particularizarea teoriei generale a punerii virtuale în funcțiune aplicată pe platformelor software oferite de furnizorii Siemens și ABB.
- Evidențierea și rezolvarea problemelor diferitelor de limbaje de programare folosite pentru controlul roboților industriali.
- Concepția mecanică și modelarea 3D a celulei robotizate și a elementelor componente ale acesteia, folosită în studiul de caz.
- Concepția electrică, pneumatică și logica de programare pentru acționarea întregii celule robotizate folosită în studiul de caz.
- Sintetizarea matematică a conversiei de logică de programare pentru control industrial, din bloc de funcții în diagrama ladder.

- Analiza integrărilor realizate a confirmat faptul că ecosistemul Siemens (Simatic Robot Integrator, Mechatronic Concept Designer și TIA Portal) oferă soluții native de tip Click-to-Connect care simplifică schimbul de semnale și reduc efortul de configurare manuală, dar aceste beneficii se aplică exclusiv în cadrul mediilor Siemens.
- Evidențierea diferențelor dintre standardele de comunicație industrială prin testarea interoperabilității cu platforme externe precum ABB RobotStudio sau Factory IO. Acestea necesită configurări suplimentare, mapări manuale ale semnalelor și dezvoltarea unor mecanisme dedicate de „handshake”.
- Demonstrarea limitărilor tehnice ale Factory IO precum: imposibilitatea importului de semnale, lipsa compatibilității cu PLCSim Advanced, biblioteca restrânsă de echipamente. Acestea au evidențiat faptul că soluțiile de punere virtuală în funcțiune nu sunt încă pe deplin mature pentru scenarii complexe de robotică industrială, iar platforma Factory IO nu prezintă minimul necesar de compatibilitate pentru a putea fi integrat cu Siemens.
- Fundamentarea teoretică a conceptului de Virtual Commissioning (VC), demonstrând atât avantajele integrărilor platformelor native, cât și provocările interoperabilității între producători diferiți, aspecte care pot ghida dezvoltările viitoare în domeniu.
- A fost realizată comunicația bazată pe standardul OPC care confirmă rolul esențial al acestuia ca interfață comună pentru integrarea platformelor de automatizare provenite de la producători diferiți, validând literatura privind interoperabilitatea și deschiderea sistemelor industriale.
- Configurarea și parametrizarea mediilor TIA Portal și ABB RobotStudio au evidențiat importanța respectării cerințelor tehnice specifice fiecărei platforme pentru asigurarea compatibilității, demonstrând că interoperabilitatea nu este doar dependentă de protocol, ci și de arhitectura software și hardware utilizată.
- Analiza transferului de date a arătat că latența și fidelitatea transmiterii semnalelor sunt factori critici în cadrul proceselor de punere virtuală în funcțiune, confirmând faptul că simularea industrială necesită atât standarde open-source, cât și optimizarea configurărilor la nivel de resurse software și hardware.
- Limitările identificate în configurarea controllerului RobotStudio și în gestionarea semnalelor prin OPC subliniază nevoia de dezvoltare continuă a soluțiilor de integrare, aspect care poate fundamenta direcții viitoare de cercetare pentru extinderea interoperabilității în scenarii industriale hibride.

Contribuții metodologice aferente Capitolului 3:

- Sintetizarea matematică a conversiei de logică de programare pentru controlul industrial din bloc de funcții în diagrama ladder.
- Determinarea particularităților și problematicii unificării controlului roboților industriali.

- Formularea limitelor compatibilității mediilor de simulare care folosesc gemeni digitali pentru roboții industriali.
- Realizarea unei **metodologii originale** pentru evaluarea și compararea soluțiilor de punere virtuală în funcțiune. Aceasta a fost validată prin testele experimentale între Factory IO și platformele Siemens și a condus la determinarea limitelor și a avantajelor pe care le scoate în evidență o platformă dedicată doar simulării pentru punerea virtuală în funcțiune.

Contribuții aplicative aferente Capitolelor 4, 5 și 6.

- Concepția și implementarea virtuală a teach-pendantului de control pentru Simatic Robot Integrator prin parametrizarea modelului grafic sub formă de ecran din Interfața HMI.
- Proiectarea și verificarea comunicației. Parametrizarea în interfața Simatic Robot Integrator a codului de control din Tia Portal cu modelele geometrice simulate în Siemens MCD.
- Exportul semnalelor din Tia Portal și Importul în MCD. Limitarea în interfața utilizator a schimbului de semnale.
- Testele cu Factory IO au scos în evidență atât compatibilitatea extinsă cu procesoare PLC fizice și simulatoare de la mai mulți producători, cât și limitările sale în scenarii robotizate complexe, cum sunt: maparea manuală a semnalelor, imposibilitatea importului CAD, blocaje la volume mari de date.
- Configurarea simulatorului avansat din Tia Portal și a semnalelor externe în Siemens MCD. Stabilirea legăturilor (Handshake) între semnalele preluate din PLCSIM Advanced și cele generate de Siemens MCD.
- Conceperea și testarea unei punți de conectare folosind instrumente și programe adiacente platformelor de lucru.
- Validarea prin urmărirea și supravegherea semnalelor trimise între RobotStudio și Tia Portal.
- A fost demonstrată fezabilitatea tehnică a integrării funcționale între TIA Portal și ABB RobotStudio prin intermediul unui server OPC, cu stabilirea unei comunicații de tip „handshake” și monitorizarea semnalelor bidirecționale.
- Implementarea practică a scos în evidență o serie de bune practici:
    - eligibilitatea procesoarelor din TIA Portal pentru transferul OPC este o condiție obligatorie;
    - serverul OPC trebuie activat cu acces deplin, iar protecțiile dezactivate pentru a permite schimbul de date;
    - utilizarea plăcii virtuale PLCSim Adaptor Ethernet este indispensabilă în simulările Siemens;

- controllerul RobotStudio necesită configurări suplimentare și utilizarea unor componente software externe („smart component”) pentru gestionarea intrărilor și ieșirilor.

- Testele efectuate au evidențiat robustețea conexiunii, dar și posibile limitări: interfața RobotStudio poate genera erori și blocaje în cazul unor transferuri complexe, ceea ce impune măsuri de supraveghere și optimizare a fluxului de date.

- Contribuția practică cea mai importantă adusă în Teza de doctorat constă în furnizarea unui model de integrare flexibil pentru punerea virtuală în funcțiune, cu potențial de extindere la alte medii industriale, consolidând utilitatea protocolului OPC în proiectele de automatizare.

7.3 Diseminarea rezultatelor. Articole publicate și/sau prezentate în Conferințe internaționale

Cercetările efectuate pe parcursul studiilor doctorale au condus la elaborarea și publicarea a patru articole științifice, apărute atât în reviste de specialitate din bazele de date internaționale, dar și în volumele unor conferințe internaționale.

Articole științifice:

I. **Andrei, A.**, Nicolescu, A.F., Pupăză, C - *Perspectives of Virtual Commissioning using ABB RobotStudio and Simatic Robot Integrator Environements: A review.* Proceedings in Manufacturing Systems, Volume 16, Issue 3, 2022, 117-123 ISSN 2067-9238.

II. Bucur, C., **Andrei**, A., Tasu, S. - *Controlling Industrial Robots with Simulink* 2023 15th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), Bucharest, Romania, 2023, pp. 1-4, BDI, 10.1109/ECAI58194.2023.10193974

III. **Andrei**, A., Nicolescu, A.F., Pupăză, C., Coman, G, Ghionea, A. - *Applicability of Virtual Commissioning Concepts în Industrial Robotics as a Solution for Compatibility Issues Between Virtual Simulation and Logic Control Software.* Appl. Sci., WOS:001429844400001, IF 2005=2.5, Q1, Engineering, Multidisciplinar, 15, 2033. https://doi.org/10.3390/ app15042033

IV **Andrei, A,** Pupăză, C., Nicolescu A.F. - *A Case Study on Virtual Commissioning of Collaborative Robots using Schneider Software Platforms - BDI* "Scientific Bulletin" Seria D: Inginerie Mecanică, ISSN (print): 1454-2358 / (online): 2286-3699, Vol. 88, Issue 1, 2026

Conferințe științifice internaționale:

- *Conference: 2023 15th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI). Data 29.06.2023, ora 9:00, Centrul de Conferințe al Universității Naționale de Știință și Tehnologie Politehnica București.*

7.4 Direcții viitoare de cercetare

Cercetările viitoare se pot concentra pe dezvoltarea unei aplicații care să funcționeze ca o interfață „Click-to-connect” care procesează și permite schimbul de date între medii software de la alți producători, precum Kuka sau Fanuc. Pentru aceasta sunt necesare blocuri sursă care să faciliteze comunicația. Scopul este de a crea o aplicație generală care să ofere, prin configurații și parametrizări minime, o legătură prin care pot fi trimise și citite sarcini și, respectiv, răspunsuri.

Pe lângă această aplicație, pot fi urmărite direcțiile actuale de cercetare identificate de autor, în legătură directă cu Teza de doctorat:

- Integrarea punerii virtuale în funcțiune cu algoritmi de inteligență artificială pentru predicția defecțiunilor și optimizarea mentenanței preventive în sisteme robotizate industriale;
- Integrarea blockchain pentru asigurarea trasabilității imuabile a parametrilor de siguranță în roboții colaborativi, prevenind manipulările nedetectate ale configurațiilor critice de securitate;
- Dezvoltarea unui mediu de punere virtuală în funcțiune integrat cu simulatoare AI generative, capabile să genereze scenarii variabile și imprevizibile, pentru testarea și antrenarea roboților în intervenții chirurgicale și alte aplicații medicale de înaltă complexitate.
- Dezvoltarea unui cadru de punere virtuală în funcțiune pentru simularea și calibrarea roboților în chirurgie ghidată imagistic, crescând precizia, siguranța și controlul manipulării delicate;

Pe scurt:

Rezultatul final al prezentei Teze de doctorat este o soluție stabilă și fiabilă pentru efectuarea activităților de VC pentru utilizatorii industriali, care permite integrarea produselor dezvoltate de ABB și Siemens.

Adresabilitatea acestei soluții este extrem de largă în ceea ce privește utilizatorii industriali, comparativ cu alte soluții de integrare hibridă găsite pe piață, cum ar fi Beckhoff și Virtual Universe PRO. Utilizatorul poate beneficia în egală măsură de soluția hibridă dezvoltată fără a investi în achiziționarea de licențe NX MCD sau respectiv alte produse software, care permit conectarea ABB RS cu TIA Portal la costuri de investiție ridicate.

Soluția hibridă dezvoltată în Teza de doctorat, deschide și alte perspective pentru cercetare cu costuri minime de investiție, datorită rezolvărilor open-source furnizate de ABB și Siemens.

Abordarea utilizată in teza de doctorat poate fi aplicată ca metodologie în cadrul unificării platformelor și limbajelor de programare oferite și de alți mari participați din industria producătoare de roboți industriali și control industrial precum KUKA, Fanuc, Yaskawa, Allen Bradley, Schneider, complementar cu necesitatea configurării și parametrizării dedicate fiecarei platforme folosite.

BIBLIOGRAFIE

[A01]. Burghardt, A.; Szybicki, D.; Gierlak, P.; Kurc, K.; Pietruś, P.; Cygan, R. Programming of Industrial Robots Using Virtual Reality and Digital Twins. Appl. Sci. 2020, 10, 486.
[A02]. Noga, M.; Juhás, M.; Gulan, M. Hybrid Virtual Commissioning of a Robotic Manipulator with Machine Vision Using a Single Controller. Sensors 2022, 22, 1621.
[A03]. Siemens. Robot Integration with TIA Portal. Available online: https://www.siemens.com/uk/en/products/automation/industry-software/automation-software/tia-portal/highlights/robot-integration.html (accessed on 2 September 2025).
[A04]. Raffaeli, R.; Bilancia, P.; Neri, F.; Peruzzini, M.; Pellicciari, M. Engineering Method and Tool for the Complete Virtual Commissioning of Robotic Cells. Appl. Sci. 2022, 12, 3164.
[B20]. Zäh, M.F.; Wünsch, G.; Hensel, T.; Lindworsky, A. Virtual Commissioning for Production Systems. Conference Publication, 2006.
[B21]. Jackson, G. Choosing a Virtual Commissioning Solution—Part 2. White Paper.
[B22]. Decotignie, J.-D. The Many Faces of Industrial Ethernet. IEEE Ind. Electron. Mag. 2005.
[B23]. Willig, A. Recent and Emerging Topics in Industrial Wireless Communication. IEEE Trans. Ind. Inform. 2008, 4(2), 102–124.
[B24]. Mahmood, A.; Lübke, D.; Trsek, H. OPC UA: The Basics: An Industrial Communication Standard; Springer: 2019.
[B25]. Bruckner, D.; Blair, R.; Stanica, M. OPC UA TSN—A New Solution for Industrial Communication. IEEE Commun. Stand. Mag. 2019, 3(1), 58–64.
[B26]. Popovski, P.; Trillingsgaard, K.F.; Simeone, O.; Durisi, G. Wireless Connectivity for Industry 4.0: Closing the Gap between Theory and Practice. IEEE Access 2019.
[B27]. Luvisotto, M.; Tramarin, F.; Vitturi, S. Real-Time Communication over IEEE 802.11: A Survey of Mechanisms, Protocols, and Open Challenges. IEEE Commun. Surv. Tutor. 2017.
[B28]. Blochwitz, T.; Otter, M.; et al. The Functional Mockup Interface for Tool Independent Exchange of Simulation Models. In Proceedings of the 2012 Modelica Conference, 2012.
[B29]. Quigley, M.; Conley, K.; et al. ROS: An Open-Source Robot Operating System. In ICRA Workshop on Open Source Software, 2009.
[B30]. Böhm, C.; Jacopini, G. Flow Diagrams, Turing Machines and Languages with Only Two Formation Rules. Commun. ACM 1966, 9(5), 366–371.
[C31] G. Graetz, G. Michaels, "Robots at Work," Review of Economics and Statistics, vol. 100
[C32] B. Lotter, Planning and Implementation of Flexible Assembly Cells, 1986.
[C33] Densitatea lemnului pe specii, Rombad Construct (online). Disponibil: https://www.rombadconstruct.ro/densitatea-lemnului-pe-specii.html. Accesat: 1 sept. 2025.
[C34] Universitatea Politehnica din București, Noțiuni introductive scheme de comandă (online). https://shiva.pub.ro/wpcontent/uploads/2018/11/Notiuni_introductive_scheme_de_comanda.pdf.
[C35] Universitatea Politehnica Timișoara, Simboluri și scheme pneumatice (online). Disponibil: https://mctr.mec.upt.ro/wp-content/uploads/2017/09/Simboluri-si-scheme-pneumatice-.pdf.
[D40] Guideline_SRI_Digital_Twin_of_Robot_Interpreter_V1_1_en, Guideline SRI Digital Twin of Robot Interpreter Version 1.1, [manual/document tehnic].
[D41] J. P. de Oliveira Hansen, Design and development of Automation Equipment based on Digital Twins and Virtual Commissioning, Denmark, 2021.
[D42] FactoryIO Drivers Manual, FactoryIO (online). Disponibil: https://docs.factoryio.com/manual/drivers/. Accesat: 4 sept. 2025.

[E50] D. Cerrillo, A. Barrientos și J. Del Cerro, „Kinematic Modelling for Hyper-Redundant Robots—A Structured Guide," Mathematics, vol. 10, art. 2891, 2022.
[E51] Manual_3HAC032104_OM_RobotStudio-en, RobotStudio (manual tehnic).
[E52] Manual_3HAC074394_AM_IRC5_OPC_UA_Server-en, manual tehnic (IRC5 OPC UA)
[E53] Trying to import RSConnect and OPCUA Smart Components, RobotStudio Forum (online). Disponibil: https://forums.robotstudio.com/discussion/14008/trying-to-import-rsconnect-and-opcua-smart-components. Accesat: 4 sept. 2025.
[F60] P. Hoffmann, R. Schumann, T. M. Maksoud, G. C. Premier, "Virtual commissioning of manufacturing systems: a review and new approaches for simplification," ECMS, vol. 1, pp. 2010.
[F61] Schneider Electric, "EcoStruxure Cobot Expert: User Guide (Version 03)," 1 June 2024. Disponibil online: https://www.se.com/th/en/download/document/EIO0000004780/?utm_source.
[F62] M. Oitzman, "Schneider Electric unveils new Lexium cobots at MODEX 2024," The Robot Report, 5 April 2024. Disponibil online: https://www.therobotreport.com/schneider-electric-unveils-new-lexium-cobots-at-modex-2024/?utm_source.
[F63] É. Fournier et al., "The Impacts of Human-Cobot Collaboration on Perceived Cognitive Load and Usability during an Industrial Task: An Exploratory Experiment," arXiv, 30 May 2023.
[F64] A. Ghadirzadeh et al., "Human-centered collaborative robots with deep reinforcement learning," arXiv, 2 July 2020.
[F65] Y. Wu, J. Wei, J. Oh, D. Cardoso Llach, "Towards Human-Centered Construction Robotics: A Reinforcement Learning-Driven Companion Robot for Contextually Assisting Carpentry Workers," arXiv, 27 Mar 2024, rev. 14 Sep 2024.
[F66] S. Baidya et al., "Digital Twin in Safety-Critical Robotics Applications: Opportunities and Challenges," arXiv, 26 Sept 2022.
[F67] A. Sharma et al., "Digital Twins: State of the Art Theory and Practice, Challenges, and Open Research Questions," arXiv, 2 Nov 2020.
[F68] D. Kim, K. Kyusung, M. Choi, J. Um, "Digital twin for autonomous collaborative robot by using synthetic data and reinforcement learning," Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, vol. 85, p. 102632, Feb 2024.
[F69] "A Hybrid Digital Twin Scheme for the Condition Monitoring of Industrial Collaborative Robots," Procedia Computer Science, vol. 232, pp. 1099–1108, 2024.
[F70] S. Salimi, J. Peña Queralta, T. Westerlund, "Hyperledger Fabric Blockchain and ROS 2 Integration for Autonomous Mobile Robots," 2023 IEEE/SICE International Symposium on System Integration.
[F71] S. Salimi, P. Torrico Morón, J. Peña Queralta, T. Westerlund, "Secure Heterogeneous Multi-Robot Collaboration and Docking with Hyperledger Fabric Blockchain," 2022 IEEE 8th World Forum on Internet of Things (WF-IoT).
[F72] Connect your robots using IoT Gateway – OPC UA or MQTT, ABB Robotics (web). Disponibil: https://new.abb.com/products/robotics/controllers/opc-ua?utm_source.