



(12)

BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2013 00482**

(22) Data de depozit: **28/06/2013**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **29/11/2021** BOPI nr. **11/2021**

(41) Data publicării cererii:
30/12/2013 BOPI nr. **12/2013**

(73) Titular:
• **UNIVERSITATEA "TRANSILVANIA" DIN
BRAȘOV, BD.EROILOR NR.29, BRAȘOV,
BV, RO**

(72) Inventatori:
• **FRATU AUREL, STR. SPĂȚARUL LUCA
ARBORE NR.5, BL.1, SC.A, AP.7, BRAȘOV,
BV, RO**

(56) Documente din stadiul tehnicii:
**WO 2010/017835 (A1); EP 1936458 (A2);
M. ROHDE/COLECTIV, "INTUITIVE ROBOT
PROGRAMMING FOR AUTOMATION OF
LOW STANDARDIZED LOGISTIC
PROCESSES", INTERNATIONAL
JOURNAL OF SYSTEMS APPLICATIONS,
ENGINEERING/DEVELOPMENT, ISSUE 1,
VOL. 2, 2012**

(54) **SISTEM PENTRU PROGRAMAREA TRAIECTORIILOR
DE MIȘCARE ALE ARTICULAȚIILOR UNUI BRAȚ ROBOTIC**



RO 129121 B1

1 Invenția se referă la un sistem de programare a roboților prin combinarea tehnicilor
de programare off-line și on-line.

3 Se cunosc metode de programare a brațelor robotice prin tehnica on-line având la
baza diferite implementări care presupun învățarea traiectoriilor articulare ce urmează a fi
5 realizate de acesta în exploatare. Învățarea se face prin conducerea manuală a brațului
robotic fizic real, prin acțiunea directă a operatorului uman sau cu ajutorul unor dispozitive
7 specifice (joystick, teach pendant sau replici master) și înregistrarea de secvențe de mișcare
care urmează să fie reproduse de către brațul robotic fizic real în regimul automat de
9 funcționare. Această tehnică are dezavantajele unei productivități reduse deoarece pentru
a obține o precizie mărită a traiectoriilor de mișcare se fac mai multe încercări și astfel
11 robotul va fi ocupat cu activități de programare.

13 Se cunosc metode de programare textuală a roboților prin tehnica off-line care
presupun întocmirea unui program robot, de obicei, într-un limbaj specific de programare
(Agent Modeling Language (AML), ABB Rapid etc.) care sintetizează sarcina robotică de
15 realizat printr-o succesiune de comenzi de tip text. Această tehnică are dezavantajul major
legat de operațiile costisitoare de calibrare necesare la implementarea programului sursa pe
17 robot în vederea eliminării abaterilor dintre datele considerate în mediul de programare și
cele din mediul real robot.

19 Se cunosc sisteme automate de programare a roboților bazate pe metode de
programare demonstrativă prin imitarea structurilor biologice. Programarea automată
21 demonstrativă presupune secvențierea acțiunilor robotului și dezvoltarea de demonstratori
pentru acțiuni simple urmată de combinarea acestora.

23 Scopul invenției este obținerea unui sistem de programare bazată pe metoda de
programare demonstrativă prin care brațului robotic fizic real va imita comportamentul brațu-
25 lui robotic virtual creat off-line pe o platformă de programare.

27 Problema tehnică pe care o rezolvă invenția este de a programa prin demonstrare
un braț robotic real, folosind ca demonstrator prototipul său virtual, brațul robotic virtual.

29 Sistemul hibrid pentru programarea traiectoriilor de mișcare ale articulațiilor unui braț
robotic real constituit din:

31 - platforma de programare având structura hardware, sistem de operare, limbaj de
programare, interfață grafică, pe care se întocmește off-line un program robot, scriind cod
sursă într-un limbaj de programare și obținând apoi cod mașina după compilare, realizându-
33 se prototipul virtual al brațului robotic, platforma de programare transmițând în registrele de
date ale portului structurii hardware, valorile numerice, în cod binar, ale variabilelor articulare
35 ale prototipului braț robotic virtual calculate prin programul robot;

37 - interfața numerică prin care se transferă on-line, pe baza unui protocol, datele
stocate în registrele de date al portului structurii hardware în registrele de date ale controle-
relor axelor motoare ale brațului robot-real, aceste valori numerice constituind mărimile de
39 referință ale buclelor automate de urmărire pentru o variabilă articulară rotoidă și de control
a mișcării actuatorilor din axelor motoare ale articulațiile brațului robotic real, conform
41 invenției, are platforma de programare care realizează și:

43 - prototipul virtual al spațiului de lucru cu obstacole în care operează brațul robotic
real;

45 - optimizarea, în sensul evitării obstacolelor în timpul realizării sarcinii robotice, a
traiectoriilor de mișcare ale prototipului virtual, afișate prin imagini video pe o interfață grafica
cu utilizatorul IGU;

RO 129121 B1

- mișcările brațului robotic virtual, care sunt reproduse de brațul robotic real în spațiul de lucru real cu constrângeri, obținându-se astfel structuri de urmărire automată a traiectoriilor de mișcare ale articulațiilor brațului robotic virtual, și care sunt reproduse de către articulațiile brațului robotic real în spațiul de lucru real cu constrângeri robotul real imitând comportamentul optimizat al prototipului sau virtual.

Conform unui alt aspect al invenției, bucla automată de urmărire pentru o variabilă articulară rotoidă conține un traductor numeric de poziție montat în articulația rotoidă a brațului robotic real, traductor care furnizează unui bloc comparator numeric valoarea numerică în cod binar $\theta_r(t)$, unde k este numărul de biți utilizați pentru reprezentarea mărimii, a variabilei articulare $\theta_v(t)$ funcție de timp, și apoi transmisă prin intermediul unui bloc adaptor convertor blocului comparator numeric (BCN) care va compara valoarea numerică în cod binar $\theta_v(k)$, a variabilei articulare $\theta_v(t)$ a articulației rotoide a brațului robotic virtual preluată din registrul tampon al interfeței numerice, cu valoarea numerică în cod binar $\theta_r(k)$, a variabilei articulare reale $\theta_r(t)$, rezultând eroarea de urmărire în cod binar $\epsilon_v(k)$ ce va fi prelucrată de un microcontroler (μC) care va comanda, în sensul anulării erorii de urmărire, prin intermediul unui contactor static, un actuator electric plasat în articulația rotoidă a brațului robotic real, parametrii de control ai buclei fiind parametrii unui sistem automat care asigură o eroare de urmărire aproape de valoarea zero și o stabilitate robustă.

Sistemul, conform invenției prezintă următoarele avantaje:

- permite programarea off-line a traiectoriilor de mișcare, nefiind necesară ocuparea robotului cu activități de programare;

- oferă operatorului programator informațiile necesare optimizării traiectoriilor articulare (prin monitorizare vizuală în sensul evitării coliziunilor) la nivelul prototipului braț robotic virtual în spațiul de lucru virtual, și astfel robotul real - care imită comportamentul robotului virtual - va evita coliziunea cu obstacolele existente în spațiul de lucru real;

- aplicabilitate pentru programarea creativă și versatilă a traiectoriilor articulare ale oricărui tip de braț robotic;

- aplicabilitate la determinarea prealabilă, cu cost relativ redus, a triectoriilor de mișcare în spațiul de lucru virtual pentru diferite sarcini robotice.

Se dă în continuare un exemplu de aplicare a sistemului, conform invenției, în legătură cu fig. 1 și fig. 2 care reprezintă:

- fig. 1. schema de principiu a sistemului de programare pentru un braț robotic particular cu trei articulații rotoide (trei grade de libertate);

- fig. 2. schema bloc a unei bucle de urmărire automată pentru mișcarea de rotație.

Conform invenției, în scopul programării traiectoriilor de mișcare ale articulațiilor unui braț robotic real, într-o primă etapă, folosind o platformă de programare un operator programator scrie off-line un program robot și generează, într-un mediu informatic, prototipul virtual al brațului robotic real ce urmează a fi programat și prototipul virtual al spațiului de lucru real cu constrângeri (obstacole) fizice, în care acesta trebuie să lucreze; într-o a doua etapă, în programul robot se scrie cod sursa care va sintetiza traiectoriile de mișcare ale articulațiilor exprimate prin variabilele articulare - funcții de timp - ale prototipului braț robotic virtual, sistemul informatic generând cod mașina și afișând pe o interfață grafică, prin imagini video, comportamentul prototipului braț robotic virtual în timpul realizării unei sarcini robotice specifice în spațiul de lucru virtual cu constrângeri (obstacole) virtuale - în care coliziunile sunt admise/permise - și oferind astfel operatorului programator informațiile necesare optimizării traiectoriilor sintetizate (programate) folosind diferite scenarii; transmițând, într-o a treia etapă, valorile numerice - în cod binar - ale variabilelor articulare optimizate ale

RO 129121 B1

1 prototipului braț robotic virtual, în registrele de date ale unui port al sistemul informatic; iar
într-o a patra etapă, folosind o interfață numerică se transferă on-line valorile numerice - în
3 cod binar - ale variabilelor articulare ale prototipului braț robotic virtual din registrele de date
ale portului sistemul informatic, în registrele de date ale blocurilor comparatoare numerice
5 din buclele de urmărire constituite pentru fiecare axă motoare din articulațiile brațului robotic
real; aceste valori numerice constituind mărimile de referință ale buclelor de control individual
7 al actuatorilor axelor motoare din articulațiile brațului robotic real; obținându-se, în ultima
etapă, structuri automate de tip buclă de urmărire a traiectoriilor de mișcare optimizate ale
9 articulațiilor brațului robotic virtual de către articulațiile brațului robotic real, acestea din urmă
vor imita gesturile (mișcările) brațului robotic virtual, generând mișcare în spațiul de lucru real
11 evitând coliziunea cu obstacolele fizice reale.

Sistemul pentru programarea triectoriilor de mișcare ale articulațiilor unui braț robotic
13 real, conform metodei de mai sus, este formată dintr-o platformă de programare - constituită
la rândul ei dintr-o structură hardware, un sistem de operare, un limbaj de programare, o
15 interfață grafică - pe care se întocmește off-line un program robot, scriind cod sursa în
limbajul de programare și obținând apoi cod mașina după compilare, generându-se astfel
17 prototipul virtual al brațului robotic real (brațul robotic virtual) și prototipul virtual al spațiului
de lucru real (spațiul de lucru virtual) în care acesta operează; prin programul robot sunt
19 sintetizate și optimizate traiectoriile de mișcare (variabilele articulare) ale brațului robotic
virtual pentru o sarcină robotică specifică și sunt transmise - ca valori numerice binare - în
21 registrele de date ale unui port al structurii hardware; o interfață grafică cu utilizatorul pe care
se afișează (vizualizează) evoluția (funcționarea) prototipului braț robotic virtual în timpul
23 realizării sarcinii robotice specifice; o interfață numerică tampon prin care se transferă on-
line, pe baza unui protocol, datele stocate în registrele de date ale portului structurii
25 hardware în registrele de date ale unor blocuri comparatoare numerice și constituie mărimile
de referință ale buclelor de control a mișcării actuatorilor axelor motoare din articulațiile
27 brațului robotic real; un sistem de control care conține blocurile comparatoare numerice, blo-
curile adaptoare-convertoare, microcontrolere, blocurile contactoare statice, care împreună
29 cu actuatorii electrici și traductoarele de poziție ale axelor motoare din articulațiile brațului
robotic real, formează buclele de urmărire automată pentru articulațiile brațului robotic real;
31 traiectoriile de mișcare ale articulațiilor brațului robotic virtual realizate în mediul virtual și
afișate prin imagini video pe interfața grafică vor fi reproduse în spațiul de lucru real de către
33 articulațiile brațului robotic real.

Conform exemplului de realizare prezentat în figuri, pe platforma de programare **PLP**
35 se realizează prototipul virtual al brațului robotic real ce urmează a fi programat și prototipul
virtual al spațiului de lucru real în care acesta operează. Prototipul braț robotic virtual **BRV**
37 și spațiul de lucru din mediul virtual sunt afișate pe interfața grafică, **IGU** a platformei de
programare. În această etapă operatorul programator are posibilitatea să testeze și să opti-
39 mizeze în mediul virtual comportamentul (traiectoriile de mișcare ale) brațului robotic virtual -
în sensul evitării coliziunilor - modificând programul (scriind cod sursa) în mod cores-
41 punzător - pentru diferite sarcini robotice, după diferite scenarii.

Traietoriile de mișcare - exprimate prin variabilele articulare funcții de timp - ale
43 articulațiilor rotoide ale prototipului braț robotic virtual **BRV**, sintetizate prin programul robot,
vor fi înscrise în registrele unui port de ieșire al sistemului informatic. Valorile numerice - în
45 cod binar - ale variabilelor articulațiilor rotoide (articulare) optimizate ale prototipului braț
robotic virtual **BRV** din registrele de date al portului de ieșire al sistemului informatic sunt
47 transferate în registrele de date tampon ale interfeței numerice IN. Din registrele tampon
datele sunt transferate - prin program - în registrele blocurilor comparatoare numerice **BCN**

RO 129121 B1

ale buclelor de urmărire pentru mișcarea de rotație din sistemul de control SC . Valorile numerice din registrele blocurilor comparatoare numerice reprezintă mărimile de referință ale buclelor de urmărire pentru mișcarea de rotație constituite prin sistemul de control SC , pentru articulațiile rotoide ARR1 , ARR2 , ARR3 ale brațului robotic real BRR .	1 3
Controlul mișcării din articulațiile brațului robotic real este asigurat de către bucele standard de control automat în regim de urmărire; fiecare buclă conținând un bloc comparator numeric, un microcontroler, un bloc contactor static, un actuator electric, un traductor de poziție și un bloc adaptor - convertor.	5 7
Pentru o variabilă articulară rotoidă, bucla automată de urmărire conține un traductor numeric de poziție TP montat în articulația rotoidă ARR a brațului robotic real BRR . Valoarea numerică în cod binar $\theta_r(k)$ - unde k este numărul de biți utilizați pentru reprezentarea mărimii - a variabilei articulare reale $\theta_r(t)$ funcție de timp, furnizată de traductorul numeric de poziție TP este transmisă prin intermediul unui bloc adaptor convertor BAC , blocului comparator numeric BCN . Blocul comparator numeric BCN va compara valoarea numerică în cod binar $\theta_v(k)$, a variabilei articulare $\theta_v(t)$ a articulației rotoide a brațului robotic virtual, preluată din registrul tampon RT al interfeței numerice IN , cu valoarea numerică în cod binar $\theta_r(k)$, a variabilei articulare reale $\theta_r(t)$. Mărimea numerică în cod binar a erorii de urmărire, $\varepsilon_u(k)$ va fi prelucrată de microcontrolerul μC care va comanda - în sensul anulării erorii de urmărire - prin intermediul contactorului static BCS , actuatorul electric ACT plasat în articulația rotoidă ARR a brațului robotic real BRR .	9 11 13 15 17 19
Bucla automată de urmărire va acționa în sensul anulării erorii de urmărire și astfel va asigura că variabila articulară - funcție de timp - $\theta_r(t)$, a articulației rotoide a brațului robotic real să urmărească variabila articulară - funcție de timp - $\theta_r(t)$, a articulației rotoide a brațului robotic virtual.	21 23

RO 129121 B1

Revendicări

1
3 1. Sistem hibrid pentru programarea traiectoriilor de mișcare ale articulațiilor unui braț robotic real constituit din:

5 - platforma de programare (**PLP**) având structura hardware, sistem de operare, limbaj de programare, interfață grafică, pe care se întocmește off-line un program robot, scriind cod sursă într-un limbaj de programare și obținând apoi cod mașina după compilare, realizându-se prototipul virtual al brațului robotic, platforma de programare (**PLP**) transmitând în registrele de date ale portului structurii hardware, valorile numerice, în cod binar, ale variabilelor articulare ale prototipului braț robotic virtual (**BRV**) calculate prin programul robot;

11 - interfața numerică (**IN**) prin care se transferă on-line, pe baza unui protocol, datele stocate în registrele de date al portului structurii hardware în registrele de date ale controlerelor axelor motoare ale brațului robot-real (**BRR**), aceste valori numerice constituind mărimile de referință ale buclelor automate de urmărire pentru o variabilă articulară rotoidă și de control a mișcării actuatorilor din axelor motoare ale articulațiile brațului robotic real (**BRR**), **caracterizat prin aceea că**, platforma de programare (**PLP**) realizează și:

17 - prototipul virtual al spațiului de lucru cu obstacole în care operează brațul robotic real;

19 - optimizarea, în sensul evitării obstacolelor în timpul realizării sarcinii robotice, a traiectoriilor de mișcare ale prototipului virtual, afișate prin imagini video pe o interfață grafica cu utilizatorul IGU;

21 - mișcările brațului robotic virtual, care sunt reproduse de brațul robotic real în spațiul de lucru real cu constrângeri, obținându-se astfel structuri de urmărire automată a traiectoriilor de mișcare ale articulațiilor brațului robotic virtual, și care sunt reproduse de către articulațiile brațului robotic real în spațiul de lucru real cu constrângeri robotul real imitând comportamentul optimizat al prototipului sau virtual.

27 2. Sistem hibrid pentru programarea traiectoriilor de mișcare ale articulațiilor unui braț robotic real, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că**, bucla automată de urmărire pentru o variabilă articulară rotoidă conține un traductor numeric de poziție (**TP**) montat în articulația rotoidă (**ARR**) a brațului robotic real (**BRR**), traductor care furnizează unui bloc comparator numeric (**BCN**) valoarea numerică în cod binar $\theta_r(t)$, unde k este numărul de biți utilizați pentru reprezentarea mărimii, a variabilei articulare $\theta_v(t)$ funcție de timp, și apoi transmisă prin intermediul unui bloc adaptor convertor (**BAC**) blocului comparator numeric (**BCN**) care va compara valoarea numerică în cod binar $\theta_v(k)$, a variabilei articulare $\theta_v(t)$ a articulației rotoide a brațului robotic virtual (**BRV**) preluată din registrul tampon (**RT**) al interfeței numerice (**IN**), cu valoarea numerică în cod binar $\theta_r(k)$, a variabilei articulare reale $\theta_r(t)$, rezultând eroarea de urmărire în cod binar $\varepsilon_u(k)$ ce va fi prelucrată de un microcontroler (**μ C**) care va comanda, în sensul anulării erorii de urmărire, prin intermediul unui contactor static (**BCS**), un actuator electric (**ACT**) plasat în articulația rotoidă (**ARR**) a brațului robotic real (**BRR**), parametrii de control ai buclei fiind parametrii unui sistem automat care asigură o eroare de urmărire aproape de valoarea zero și o stabilitate robustă.

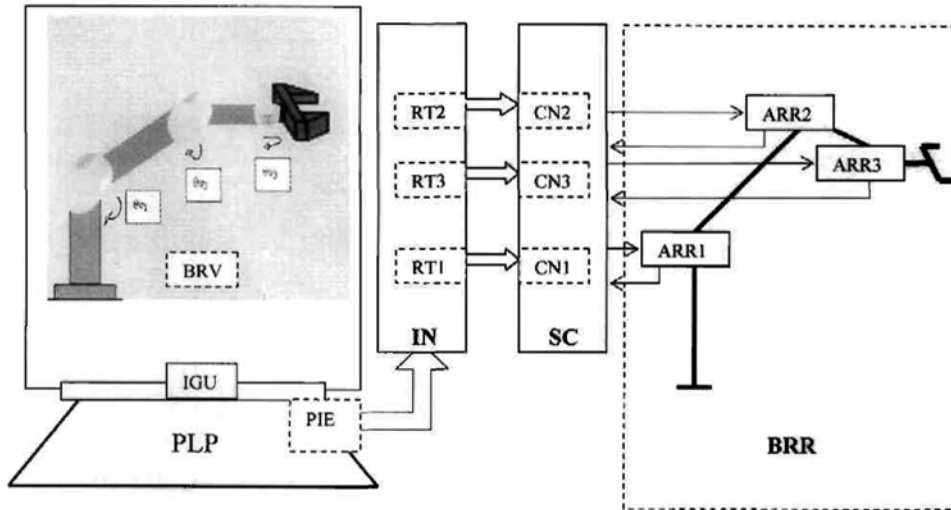


Fig. 1

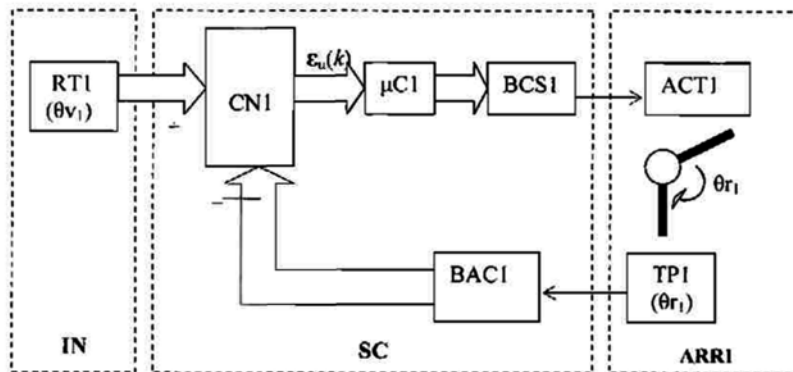


Fig. 2

