

MINISTERUL ÎNȘĂCĂRII ȘI ÎNȚĂCĂRII
INȘTITUTUL POLITEHNIC "TRAIAN TRILĂ" TIMIȘCĂRĂ
FĂCULTĂCĂRĂ DE ELECTROTEHNICĂ

ING.ȘT.ȘT. ION

CIRCUITUL ȘI METODELE DE ÎNȘĂCĂRIE ȘI ÎNȚĂCĂRIE
ÎNȘTITUTUL DE ÎNȘĂCĂRIE ȘI ÎNȚĂCĂRIE

- Teză de doctorat -

BIBLIOTECA CENTRĂ
UNIVERSITĂCĂRĂ "POLITEHNICĂ"
TIMIȘCĂRĂ

Conducător științific:
Prof. Dr. Ing. ȘT. ȘT. TRILĂ

517.401
359 E

- 1966 -

C O N T I N U T

Introducere	3
Cap.1. Instruirea roboților industriali, aspecte generale.	7
1.1. Aplicații actuale și de perspectivă a roboților industriali în procesul de producție	7
1.2. Caracteristicile procesului de instruire pentru diferite generații de roboți industriali actuali	11
Cap.2. Instruirea roboților industriali, proces de integrare. Sistemul operator-robot-mediu	19
2.1. Elementele fundamentale ale procesului de instruire a unui robot industrial	19
2.2. Probleme specifice instruirii roboților programabili adaptivi	23
Cap.3. Modelarea prin limbaj a subsistemelor unui robot industrial și a interacțiunii lor	28
3.1. Limbajul model al unui subsistem și funcția lui în comunicația cu alte subsisteme	28
3.2. Structura internă a limbajului model natural pentru un subsistem al unui robot industrial	35
Cap.4. Metode și dispozitive de instruire pentru roboți programabili adaptivi actuali	44
4.1. Instruirea confuză prin panoul de instruire. Variante de aplicabilitate	44
4.2. Instruirea interactivă grafică a roboților industriali actuali	49
Cap.5. Instruirea interactivă a robotului de sudare RUMT-2-S	65
5.1. Caracteristici specifice instruirii roboților industriali în aplicații de sudare	65
5.2. Instruirea grafică interactivă, aplicată la robotul de sudare RUMT-2-S	68
5.3. Programarea prin instruire a robotului RUMT-2-S pentru sudarea adaptivă pe rost liniar	71

5.4. Autoinstruirea robotului RRM-2-E pentru sudarea pe rost curbiliniu	81
Cap.6. Dezvoltarea formii a limbajului de instruire grafică interactivă a robotului RRM-2-E	91
6.1. Specificarea universului natural și a limbajelor de subsistem pentru un robot industrial în apli- cații de sudură	91
6.2. Relații de determinare a domeniului de instruire adaptivă pentru un robot industrial	99
Cap.7. Concluzii și contribuții	106
7.1. Concluzii și direcții de cercetare în continuare	106
7.2. Contribuții	110
BIBLIOGRAFIE	116
ANEXE	121

INTRODUCERE

Progresele științei și tehnicii contemporane, au generat fenomenul unanim recunoscut ca o a doua revoluție tehnico-științifică. În domeniul proceselor de fabricație industrială aceasta se manifestă prin utilizarea tot mai frecventă a sistemelor de automatizare flexibilă.

În cadrul celulelor flexibile de fabricație, roboții industriali caracterizează un nou nivel între operatorul uman și mijloacele de producție, prelucând sarcini de execuție și decizii curente simple.

Perspectivile de dezvoltare în domeniul roboților industriali în țara noastră rezultă direct din directivele Congresului al XIII-lea al Partidului Comunist Român.

Cercetările ale căror rezultate sînt prezentate în lucrare sînt consecința participării autorului la activitatea de cercetare contractuală în cadrul colectivului de roboți industriali din Institutul politehnic "Traian Vuia" din Timișoara.

Lucrarea abordează problema programării prin instruire a roboților industriali evaluați, avînd ca obiectiv principal dezvoltarea unor noi mijloace și metode de instruire care să inducă robotului caracteristici de adaptabilitate, sperînd în acest mod eficiența de implementare practică.

Din analiza caracteristicilor specifice ale procesului de instruire a roboților industriali actuali, rezultă ca programarea prin instruire induce robotului caracteristici adaptive numai decît acest proces de comunicare operator-robot se desfășoară în baza unor noțiuni cu un nivel ridicat de abstractizare conceptuală și structurare în reprezentare.

În vederea soluționării problemei instruirii roboților industriali evaluați, dotați cu senzori vizuali, se propune modelarea funcționalității și comunicării subsistemelor unitate de

comandă, senzații și efecteri prin limbaje formale unitare specificate semantic și sintactic folosind cadrul matematic al structurilor algebrice heterogene.

În acest cadru de modelare, metoda de instruire cu elementul ei principal limbajul de instruire în forma cea mai eficientă, se determină ca limbajul cuprinsului elementale primitive la acel nivel ierarhic al structurii noțiunilor de descriere a universului natural, în care limbajele de subsistență păstrează încă proprietatea de independență de context.

Pentru verificarea experimentală a considerațiilor teoretice formulate a fost atinsă implementarea robotului RAKT-2-B pentru sudare cu arc în mediu protector, o cameră TV și un dispozitiv grafic interactiv de instruire.

În două aplicații de sudare după rost liniar și respectiv curbiliniu în plan, programarea prin instruire a fost efectuată prin modelarea grafică a rostului de sudare cu segmente de dreaptă ca element primitiv al limbajului de instruire.

Pe lângă eficiența și operativitatea programării prin instruire, utilizând acest limbaj cu nivel ierarhic superior limbajului ce utilizează ca elemente primitive coordonate de afixaj sau cuple cinematice, au rezultat și reale caracteristici de adaptabilitate pentru această implementare a robotului RAKT-2-B.

Capacitatea de adaptare demonstrată experimental a robotului RAKT-2-B, la poziții ale rostului de sudare deplasate față de poziția avută la instruire, confirmă valoarea considerațiilor teoretice formulate și eficiența dispozitivului de instruire grafică realizat.

Considerațiile teoretice de modelare lingvistică a funcționării sistemului operator-robot-mediu, prezentate și exemplificate în lucrare poate fi utilizat atât ca mijloc de analiză a problemelor instruirii roboților industriali, cât și ca instrument de cercetare și realizare a unor noi metode și mijloace de instruire.

În punctul de vedere practic aplicativ, conform obiectivelor cercetării descrise în lucrare, caracteristicile de adaptabilitate ale robotului RAKT-2-B dotat cu cameră TV și dispozitiv grafic de instruire au permis eliminarea dispozitivelor de in-

dezare a pieselor supuse sudării și relaxarea condiției de încadrare strictă în dimensiuni a pieselor, rezultând într-o creștere a eficienței de implementare a robotului.

*

*

*

Capitolul 1 al lucrării prezintă caracteristicile generale ale implementării roboților industriali în celulele flexibile de fabricație și rolul esențial al procesului de instruire în capacitatea robotului pentru efectuarea unor acțiuni utile.

În capitolul 2 al lucrării se propun definiții pentru principalele noțiuni implicate în descrierea procesului de instruire a roboților industriali evaluați.

Capitolul 3 cuprinde descrierea fundamentării matematice a propunerii de modelare a subsistemelor ansamblului operator-robot - media prin limbaje formale, deduse în mod unitar la nivel semantic și sintactic din specificarea funcției subsistemului în ansamblu. În acest cadru formal se demonstrează propoziții de determinare a limbajului de instruire cu nivelul cel mai ridicat de abstracționare permis de aplicație și domeniul de adaptabilitate al robotului instruit în acest limbaj.

În capitolul 4 se analizează limitele de aplicabilitate ale programării prin instruire cu ajutorul panoului de instruire, se propune o structură de reprezentare grafică interactivă pentru instruire și dispozitivul de instruire grafică realizat conform acestei structuri.

Capitolul 5 al lucrării are caracter experimental, indicând rezultatele programării prin instruire grafică a robotului RRM-2-B dotat cu o cameră TV, pentru sudare pe rost liniar de sudare și posibilitatea de autoinstruire a robotului pentru sudare pe rost de sudare curbiliniu.

În programarea prin instruire, descrisă pentru cele două aplicații, s-a utilizat un limbaj de instruire având ca element primitiv de descriere segmente de dreaptă, ca model grafic pentru rostul de sudare. Sînt analizate caracteristicile de adaptabilitate ale robotului RRM-2-B instruit în acest mod și rezultatele experimentale asupra preciziei alinierii adaptive pe rostul de sudare, avînd poziții deplasate față de poziția avută la instruire.

În capitolul 6 al lucrării se dă o descriere formală a limbajelor naturale asociate subsistemelor robotului RENT-2-6, determinată în baza considerațiilor teoretice prezentate în capitolul 3 limbajul de instruire, fiind ca element primitiv segmente de dreaptă-miel grafic al rostului de sudare. În baza acestor considerații se deduce domeniul de adaptabilitate al robotului RENT-2-6 în implementarea considerată.

Capitolul 7 al lucrării prezintă contribuțiile originale ale autorului și direcțiile de cercetare în continuare.

Annexele A.1, A.2, A.3, cuprind respectiv definițiile noțiunilor de structuri algebrice heterogene și limbajele formale utilizate în lucrare, listarea programelor implementate în dispozitivul grafic de instruire și unitatea de comandă a robotului RENT-2-6 pentru alinierea adaptivă la rostul de sudare și o listă a principalelor caracteristici ale robotului RENT-2-6, utilizat în implementarea experimentală.

■

" "

Autorul mulțumește, în mod lezabil, conducătorului științific prof.dr.ing. Gheorghe Iureșan, pentru sprijinul acordat și asigurarea competenței pe tot parcursul elaborării lucrării.

Pentru sprijinul acordat în timpul verificărilor experimentale, autorul mulțumește colegilor din Colectivul de cercetare în domeniul roboticii din cadrul IIRP.

Autorul ține să mulțumească studenților cu care a colaborat în perioada ultimilor ani, pentru sprijinul constant și suportul moral primit.

Autorul mulțumește de asemenea doamnei Vierlău Felicia și doamnei Agneș, în ziua de azi, pentru calitatea redactării acestei lucrări.

CAPITOLUL 1.

INSTRUIREA ROBOTILOR INDUSTRIALI, ASPECTE GENERALE

1.1. Aplicații actuale și de perspectivă a roboților industriali în procesul de producție

Nivelul de dezvoltare tehnologică contemporană impune cu necesitate realizări care să înlocuiască operatorul uman în activități improprii statutului său creator. Acțiuni repetitive în deservirea mașinilor, lucrul în medii nocive și activități de efort fizic intens sau de mare concentrare nervoasă, intră continuu în afașa de cuprindere a automatizărilor tehnologice prin realizarea unor sisteme automate de mare complexitate.

Analiza sistemelor actuale de automatizare industrială relevă prezența crescândă a roboților, preluând sarcinile de execuție, pentru a facilita omului rolul superior de coordonator. În structura ierarhizată a proceselor de producție automatizate, robotul industrial concretizează un nou nivel între operatorul uman și mijloacele de producție, preluând sarcinile atât la nivel executiv cât și la nivel decizional de coordonare. Cadrul de interacțiune pentru operatorul uman devine predominant intelectual propriu capacităților și dorințelor lui.

Roboții industriali constituie un domeniu de cercetare de mare importanță, cu o dezvoltare accelerată. În țara noastră, în baza planului de perspectivă elaborat de MINT, se prevede o dezvoltare în ritm susținut a producției și cercetării în domeniul roboților industriali.

Principalele domenii de utilizare precum și dinamica efecturilor de cercetare în domeniu sînt determinate de necesitățile de automatizare a proceselor industriale /15/, /30/.

131/. Condițiile principale ale implementării roboților industriali în procesul tehnologic de fabricație industrial sînt productivitatea și flexibilitatea de trecere de la un tip de produs la altul. În cadrul structurilor de automatizare dependente de nivelul producției, celulele flexibile de fabricație utilizînd roboți industriali satisfac în egală măsură exigențele de productivitate și flexibilitate după cum rezultă din figura 1.1.1.

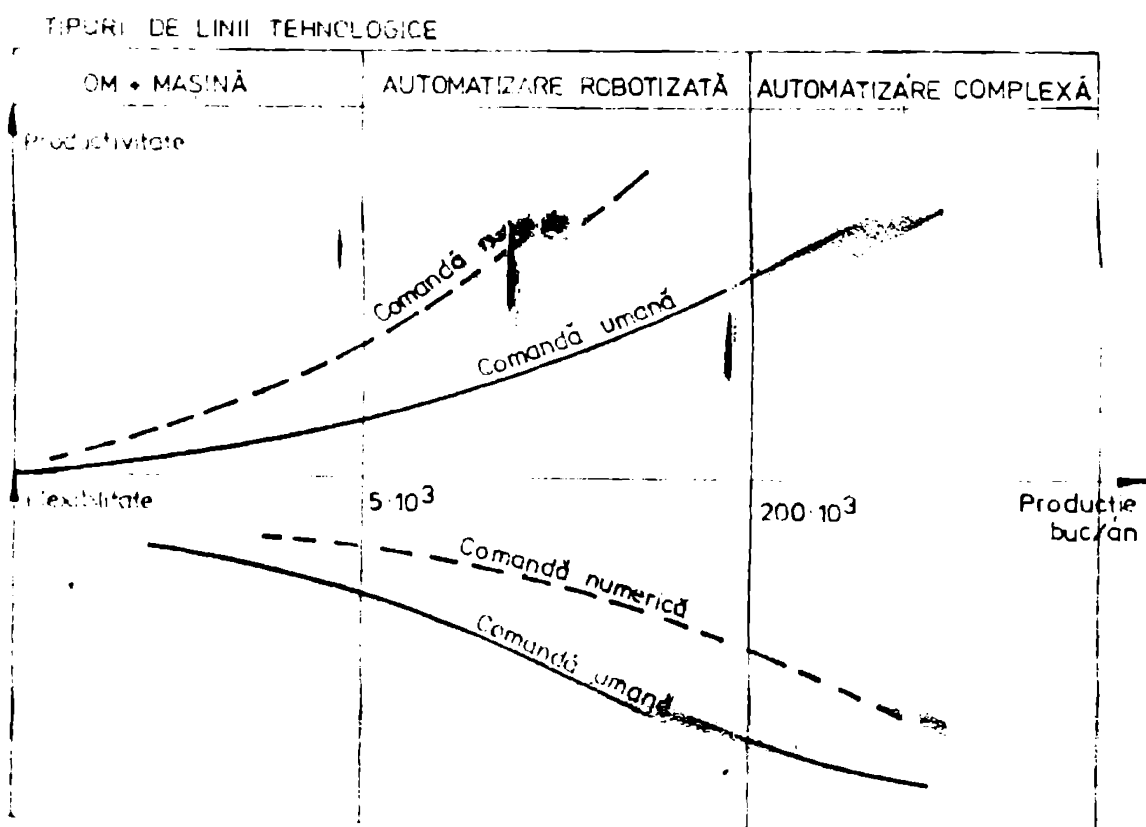


Fig.1.1.1. 131/. Productivitatea și flexibilitatea liniilor tehnologice de fabricație în funcție de nivelul producției.

În cadrul celulelor flexibile de automatizare, funcțiile unui robot industrial aparțin următoarelor categorii:

- Achiziționarea asupra mediului de lucru prin intermediul dispozitivului efector (mîna sau scula specializată);
- Achiziționarea de informații asupra stării curente a mediului de lucru cu ajutorul senzorilor;

- Funcții de control a execuției, conform instrucțiunilor primite de la operator și a datelor curente furnizate de senzori;
- Interacțiunea cu operatorul uman în cadrul procesului de instruire.

Funcțiile, structura și complexitatea roboților în cadrul celulelor flexibile de automatizare constituie un criteriu de clasificare, care urmează îndecaproape evoluția în timp a generațiilor de roboți industriali /13/, /14/, /15/, /17/ :

Roboți secvențiali - Roboți din generația I cu secvență fixă de acțiuni operând în buclă deschisă;

Roboți programabili - Roboți care materializează prin mișcare ciclograma înmagazinată de operator la instruirea cu ajutorul personalului de instruire;

Roboți programabili adaptivi - Roboți din generația a II-a care operează în buclă închisă utilizând semnale de la senzori simpli. Prezența senzorilor și operarea în buclă închisă permite decizii simple de adaptare;

Roboți inteligenți - Generație de roboți obiectiv de cercetare și implementare. Roboți dotați cu vedere artificială, senzori tactili și capacitate de decizie complexă la nivel tactic și strategic în timpul execuției.

Intrucît indiferent de complexitatea robotului sarcina de execuție este precizată în procesul interactiv de instruire de către operatorul uman, instruirea și dispozitivele dedicate acestei funcții ocupă un loc important între caracteristicile unui robot.

În figura 1.1.2 sînt prezentate schematic, locul și interacțiunea factorilor implicați în procesul de instruire. Prin intermediul dispozitivului și limbajului de instruire, operatorul transmite robotului cadrul general al acțiunilor îndreptate spre scopul urmărit.

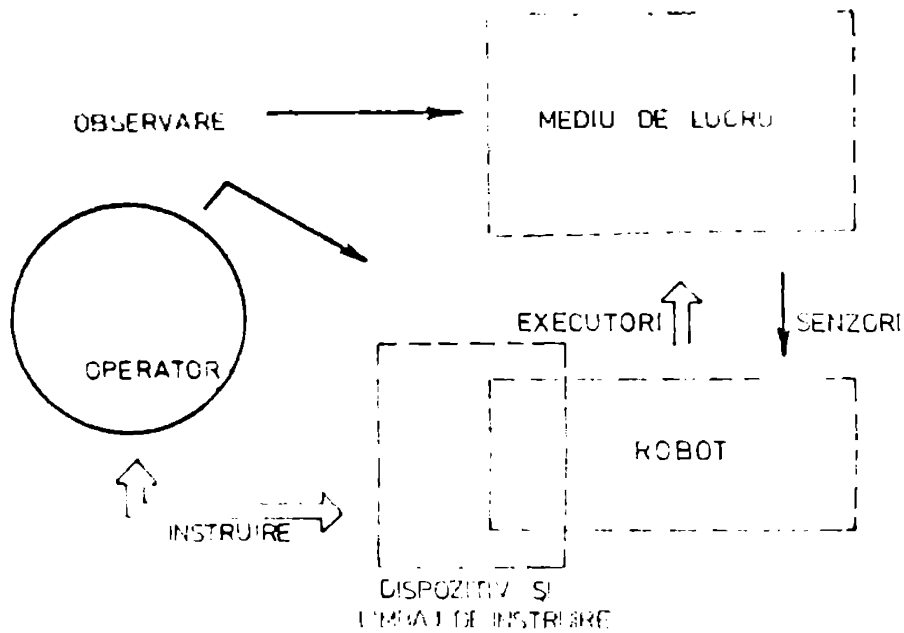


Fig.1.2. Relații principale de interacțiune între elementele sistemului operator-robot-mediu.

În execuție independentă, programele memorate în timpul instruirii constituie structura de control pentru determinarea acțiunilor ce se execută în concordanță cu starea curentă a mediului de lucru evaluată cu ajutorul senzorilor.

Caracteristicile principale ale roboților industriali actuali, sursă de creștere a eficienței în aplicații sînt: programabilitatea și capacitatea de adaptare [7], [4], [33].

Programabilitatea este caracteristica unui robot industrial care dă posibilitatea operatorului uman de a înscrive în memoria unității de comandă, în procesul de instruire, a unei succesiuni de acțiuni necesare atingerii scopului impus de aplicație.

Această caracteristică este proprie roboților secvențiali și programabili și determină o mare flexibilitate în aplicații datorită faptului că programul poate fi modificat operativ în mediul în care robotul funcționează în cadrul aplicației.

Capacitatea de adaptare este specifică roboților programabili adaptivi sau dotați cu elemente de inteligență artificială.

Capacitatea de adaptare descrie acea caracteristică a unui robot industrial evoluat de a executa secvențe de acțiuni pentru atingerea unui scop în concordanță cu starea momentană a mediului

de lucru, determinată prin analiza semnalelor furnizate de senzori.

Dezvoltarea și implementarea practică a unor roboți industriali cu caracteristici adaptive impune realizarea unor mijloace adecvate de comunicare operator-robot și a unor noi metode de instruire. Realizarea acestor dispozitive și metode constituie un factor determinant în creșterea eficienței în aplicații a roboților industriali ca urmare a sporirii caracteristicilor de adaptabilitate.

Obiectivele cercetării a cărei rezultate sînt prezentate în lucrare au fost analiza relației între caracteristicile roboților actuali și metodele de instruire, în vederea realizării unor noi mijloace și metode de programare prin instruire care să faciliteze implementarea unor caracteristici adaptive.

Complexitatea problemelor procesului de instruire pentru roboții industriali evaluați impune un cadru teoretic de suficientă generalitate pentru descrierea interacțiunii subsistemelor de senzori, unitate de comandă și efectori. În acest cadru integrarea lor într-un sistem cu caracteristici superioare rezultă în metode de instruire eficiente din punct de vedere al operatorului uman.

Realizarea unor roboți industriali evaluați, cu caracteristici de adaptabilitate, oferă perspectivă lărgirii ariei de aplicabilitate a roboților cu noi domenii conform cerințelor de automatizare a proceselor de producție industrială în economia națională.

1.2. Caracteristicile procesului de instruire pentru diferite generații de roboți industriali actuali

În relevarea caracteristicilor fundamentale ale procesului de instruire face necesară precizarea cadrului concret în care se desfășoară acest proces de interacțiune informațională.

În modelul prezentat în figura 1.2 se remarcă faptul că instruirea este o "legătură" esențială între om și robot, prin ea trebuind să treacă toate informațiile cu privire la acțiunile robotului [1]. Rezultă deci că instruirea este dependentă atât de robot, sub aspectul complexității lui, cât și de mediul de lucru, sub aspectul complexității acțiunilor ce trebuie să

întreprindere pentru finalizarea scopului urmărit și a dificultăților pe care acesta le ridică spre rezolvare robotului. De justifiacă în acest fel o prezentare a caracteristicilor procesului de instruire în funcție de generațiile de roboți existenți cît și de arile lor de utilizare.

În continuare tabelul T1 indică schematic necesitățile de instruire pentru cele trei clase în care se împart roboții actuali /25/. Se observă o diferențiere a nivelurilor de instruire în funcție de clasa robotului sub aspectul complexității sarcinilor pe care acesta trebuie să le efectueze.

Instruirea presupune intervenția operatorului uman pentru precizarea sarcinilor prin programare, la toate nivelele de decizie ale robotului, maxime de atenție cerîndu-se la nivelul cel mai ridicat de abstractizare. Modalitățile de instruire și limbajele de programare utilizate pentru roboții existenți pot fi analizate și în funcție de cantitatea de date cerute operatorului de programele de instruire /4/.

Instruirea roboților industriali actuali intră în categoria metodelor de instruire supravegheată, întrucît operatorul uman păstrează rolul principal de coordonator prin precizarea scopului tehnologic urmărit.

Volanul și complexitatea sarcinilor ce se cer rezolvate de generațiile de roboți evoluți pun probleme nu numai mașinii (inteligente) asupra găsirii unei soluții, ci și operatorului uman pentru construirea cu mijloace adecvate, a unei "legi" în așteptarea acestei căutări.

Datele furnizate de senzorii de proximitate, forță-moment și cu atât mai mult în cazul utilizării senzorilor vizuali, fie ei și primitivi, reclamă o conversație mai intensă asupra utilizării lor adecvate, cît și a gradului lor de utilitate.

În cazul roboților din generația întâi, semnalele minime provenite din mediul: prezența obiectului de manipulat, semnale de la mașinile unelte asociate și condiții limită, au putut fi ușor caracterizate și incluse în program de către programator.

Datele provenite de la senzori mai evoluți reclamă un dialog mai cuprinsător pentru ca ele să devină relevante pentru acțiunile robotului. În consecință, precizarea utilității datelor de la senzori constituie un element de importanță în cadrul instruirii. Atît limbajul de instruire, cît și dispozitivul de ins-

**Tabela Tabel. Caracteristicile instruirii pentru diferite
generații de roboți industriali actuali.**

CLASIFICAREA DE ROBOTI	SENZORI	INSTRUIRE PENTRU DECIZIE LA NIVEL:	CARACTERISTICI DE INSTRUIRE GENERALE
ROBOTI PROGRAMABILI	-SENZORI DE TIP BINAR EXCLIMITARE DE CURSA, PROTECTII	PARTICULAR	-ROBOTUL ACCEPȚA COMENZI DE LA PANELUL DE INSTRU- IRE, DEPUSE SECMEN- TIAL IN MEMORIE.
ROBOTI PROGRAMABILI ADAPTIVI	-SENZORI DE PRO- XIMITATE, FORȚA/ MOMENT, TACTILI EXTRAD. DE PROXIMITATE ULTRASUNICI	PARTICULAR + TACTIC	-SECMENȚELE DE CO- MENZI CUPRIIND SI REFERIRI LA DATE DE SENZORI, STAREA AFIȘATA PENTRU DECIZIE OPERATOR. -DECIZII SIMPLE DE ALEGERE PROGRAME IN FUNCTIE DE DATE CULESE DE SENZORI.
ROBOTI INTELEGENTI	-SENZORI SPECIFICI APLICATIEI -SENZORI VIZUALI (INTELEGEREA VORBIREA)	PARTICULAR + STRATEGIC + TACTIC	-DIALOGUL IN PROCESUL DE INSTRUIRE SE DES- FASOARA LA NIVEL DE OBIECTE, SARCINI, RELA- ȚII. OPERATORUL ESTE INFORMAT ASUPRA DE- CIZIILOR DEDUSE SI CERE CONFIRMARE DE LANSARE EXECUTII.

truire trebuie să includă facilități pentru manipularea semnalelor de la senzori.

În funcție de gradul de complexitate al robotului, nivelul de generalitate la care operatorul uman precizează sarcina scorp crește, detaliile fiind preluate de programele folosite de unitatea de comandă a robotului. În tabelul T2 sînt prezentate nivelele posibile de complexitate la care operatorul instruește robotul, indicînd partajarea sarcinilor între robot și operator /25/.

Acum la nivel de instruire primitivă prin conducere operatorul precizează implicit instrucțiunile la nivel de articulație, la roboții programabili și programabili adaptivi rezolvarea prin mijloace proprii unității de comandă a unor soluții de acțiune în nivel tactic devine capabilitate comună. Utilizarea programelor interne de transformări de coordonate (în limbaje ca: AL, PAL, PAM), comanda automată a acționărilor cuplurilor cinematice, dată fiind poziția finală a dispozitivului terminal, eliberează operatorul uman de calcule de rutină /4/. Instruirea devine odată cu utilizarea acestor limbaje un proces de programare pe etape, structura de înlănțuire a acestor blocuri de acțiune devine sarcina principală a operatorului în instruire.

În instruirea la nivel de obiect manipulat și la nivel de sarcină completă, inteligența umană primește replica exactă, deși primitivă, a unui început de inteligență artificială. Deși operatorul este eliberat de majoritatea sarcinilor la nivel particular și tactic, precizarea scopului final al acțiunilor robotului în limbaje de nivel înalt impune operatorului respectarea tuturor principiilor de structurare și paralelism proprii comunicării cu structuri abstracte complexe. Instruirea la acest nivel impune atât limbaje adecvate în relevanță, simultan semnificative pentru operator și robot, cât și dispozitive auxiliare de instruire ce depășesc caracteristicile panourilor de instruire clasice.

Figura 1.2.1 prezintă caracteristicile pentru câteva limbaje de instruire, utilizate în țară și în străinătate, frecvent citate în literatură /37/, /4/, /53/.

Ordonarea pe diagonala diagramei a limbajelor analizate arată că nivelul de instruire este direct dependent de complexitatea sarcinilor ce revin robotului și/sau operatorului

uman în procesul de instruire.

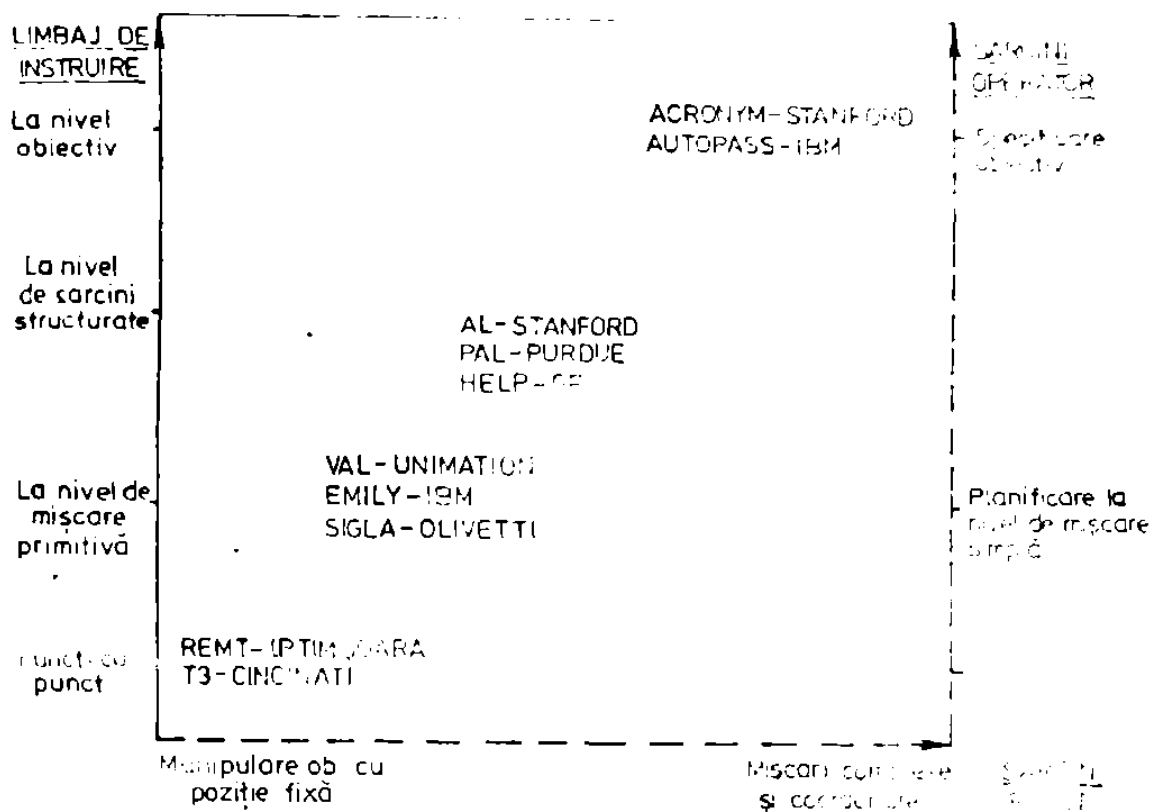


Fig.1.2.1. Limbaje de instruire pentru roboți programabili actuali.

Utilizarea unui nivel de instruire ridicat pentru instruirea roboților evoluați necesită mijloace de instruire mai complexe. Principalele tipuri utilizate la roboții industriali actuali sunt indicate în figura 1.2.2.

Comunicarea operator-robot asupra unor sarcini de acțiune în contexte complexe implică un nivel la nivel conceptual și de abstractizare ridicat, [37].

Limbajul de instruire trebuie să cuprindă, în consecință, acțiuni de suficientă generalitate, în care conceptele abstracte descriind obiecte și instrucții să poată fi precizate eficient, [41].

Analiza caracteristicilor procesului de instruire a roboților industriali și funcțiile robotului în sistemul operator-robot-mediu indică instruirea ca procesul integrativ al acestui sistem. Caracteristicile procesului de instruire reflectă în consecință, capacitățile de asamblu ale sistemului.

Tabelul T.1.2. Nivele de instruire și protejarea sarcinilor de decizie între robot și operator în timpul instruirii.

TABELUL T.1.2

TIPI DE INSTRUIRE	SARCINI ROBOT	SARCINI OPERATOR	EXEMPLE
INSTRUIRE LA NIVEL DE ARTICULAȚIE	<ul style="list-style-type: none"> - DETERMINA POZIȚIA ÎN COORDONATELE INTERNE - NECONȘTIINȚĂ SECVENȚĂ DE COMANȚI ÎN ÎNCĂLZIRE. 	<ul style="list-style-type: none"> - OPERATORUL LUCREAZĂ ÎN SENȚUL ARTICULAȚIILOR. - DETERMINA SIMȚĂȚII ȘI TACTICA PENTRU AȚINUTURĂ ȘI SCOPUL. 	RENT
INSTRUIRE LA NIVEL DE POZIȚIA TERMINAL	<ul style="list-style-type: none"> - COORDONAREA MIȘCĂRIȚII ȘI ÎNȚINUTURĂ DATE POZIȚIE ȘI SUCCESIVE DE DEPL. TERMINAL - ÎNȚINUTURĂ ȘI TACTICA ȘI TACTICA DE ÎNȚINUTURĂ 	<ul style="list-style-type: none"> - OPERATORUL SECȚIONEAZĂ ÎN ÎNȚINUTURĂ ȘI ÎNȚINUTURĂ TERMINAL - TACTICA DE ÎNȚINUTURĂ ȘI TACTICA DE ÎNȚINUTURĂ 	REN REN REN
INSTRUIRE LA NIVEL DE OBIECT	<ul style="list-style-type: none"> - COORDONAREA MIȘCĂRIȚII PENTRU AȚINUTURĂ ȘI ÎNȚINUTURĂ DATE POZIȚIE ȘI SUCCESIVE DE DEPL. TERMINAL 	<ul style="list-style-type: none"> - ÎNȚINUTURĂ ȘI ÎNȚINUTURĂ - ÎNȚINUTURĂ ȘI ÎNȚINUTURĂ - ÎNȚINUTURĂ ȘI ÎNȚINUTURĂ 	REN REN REN
INSTRUIRE LA NIVEL DE SARCINI COMPLETE	<ul style="list-style-type: none"> - PLANIFICAREA MIȘCĂRIȚII PENTRU ÎNȚINUTURĂ ȘI ÎNȚINUTURĂ DATE POZIȚIE ȘI SUCCESIVE DE DEPL. TERMINAL - COORDONAREA MIȘCĂRIȚII PENTRU REALIZARE - ÎNȚINUTURĂ ȘI ÎNȚINUTURĂ - ÎNȚINUTURĂ ȘI ÎNȚINUTURĂ 	<ul style="list-style-type: none"> - OPERATORUL ÎNȚINUTURĂ ȘI ÎNȚINUTURĂ - SARCINI DE ÎNȚINUTURĂ ȘI ÎNȚINUTURĂ - ÎNȚINUTURĂ ȘI ÎNȚINUTURĂ 	REN REN REN

Elementele principale prin care se precizează cadrul instruirii sînt:

1. - Specificarea gamei de aplicații și a sarcinilor pe care trebuie să le îndeplinească robotul;
2. - Lista de facilități cu care trebuie să fie înzestrat robotul pentru a realiza sarcinile propuse;
3. - Nivelul de abstractizare la care se instruieste robotul (representare internă a instrucțiunilor și detaliilor culese);
4. - Limbajul de instruire (în sensul nivelului de generalitate a cuvintelor - comandă);
5. - Strategia practică de realizare a procesului de instruire.

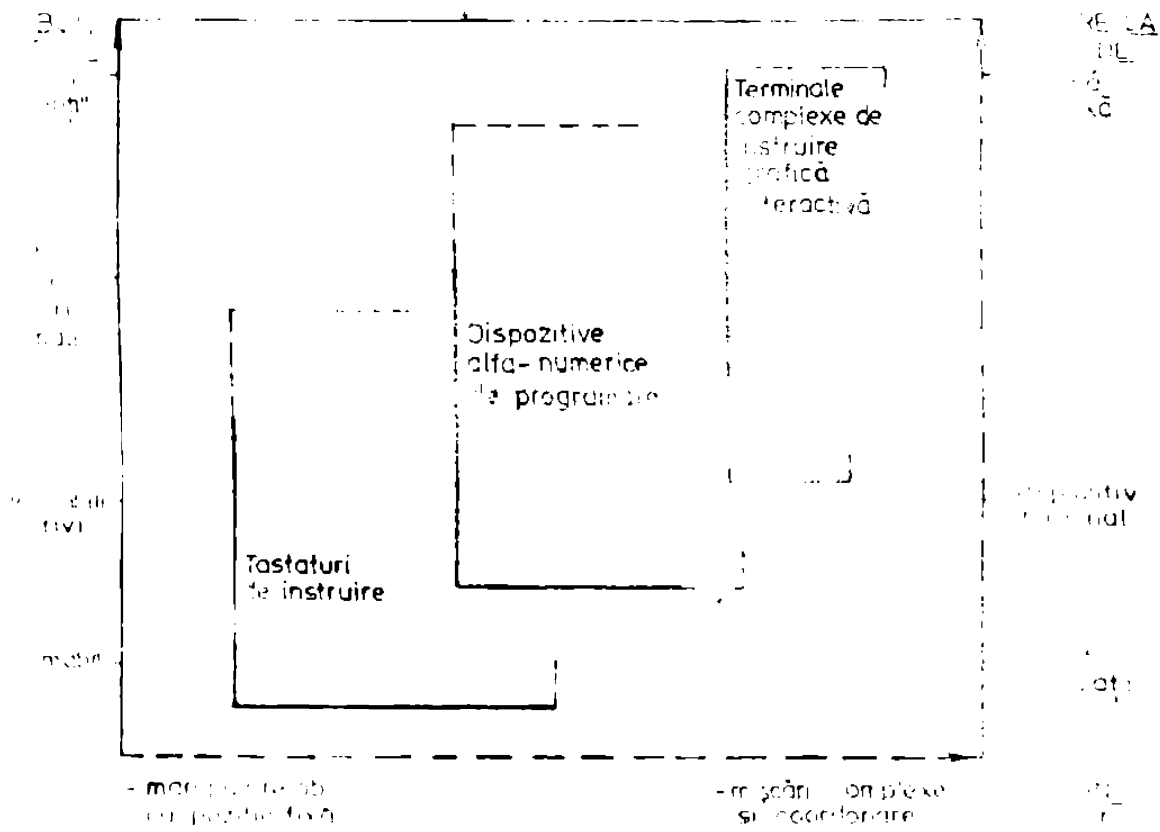


Fig.1.2.2. Domenii de eficiență în utilizarea dispozitivelor de instruire, pentru diferite clase de roboți industriali.

Extensia continuă a domeniilor de aplicații pentru roboți industriali și mai ales creșterea complexității acestor aplicații, impune dezvoltarea de limbaje de instruire și dispozitive auxiliare de instruire prin reconsiderarea atenției a

512401
359E

principiilor de abstractizare și structurare.

Efficiența în aplicații practice a roboților este condiționată de utilizarea unor mijloace și metode de instruire de complexitate suficientă pentru descrierea tuturor relațiilor între elementele implicate, care să poată fi însă utilizate cu ușurință de operatorul uman.

Trecerea la un nou nivel de complexitate, în ceea ce privește semnalele culese și caracteristicile de performanță a sistemului de senzori se realizează în mod nemijlocit și asupra problemei instruirii.

Metodele simple de instruire utilizate la primele generații de roboți, nu corespund cerințelor de interacțiune informațională intensivă a operatorului cu robotul, în procesul de instruire a roboților industriali evoluți.

Cerostările pentru soluționarea problemei instruirii roboților industriali evoluți sînt impulsionate și de necesitățile de apariție a eficienței implementărilor roboților industriali actuali, prin introducerea în procesul de instruire a unor caracteristici de adaptabilitate.

În concluzie, problema programării prin instruire a roboților industriali, este una din problemele importante ce trebuie soluționată pentru realizarea unor roboți industriali corespunzători în performanțe necesităților lor de utilizare, în procesele de producție industrială.

CAPITOLUL 2.

INSTRUIREA ROBOTILOR INDUSTRIALI, ASPECTE DE FUNDAMENTAL. SI PRIMA OPERATIUNEA - CUCU-MIPII

2.1. Elemente fundamentale ale procesului de instruire a unui robot industrial

Analiza sistemelor actuale de automatizare industriale utilizează roboți, indică drept principal factor de sporire al eficienței în aplicații, creșterea capacităților de adaptare a robotului. Instruirea roboților industriali cu caracteristici de adaptabilitate, trebuie să depășească nivelul precizării explicite a tuturor variantelor de acțiune, caracteristic roboților programabili actuali (25).

În figura 2.1.1 sunt prezentate caracteristicile de complexitate ale părților componente ale unui robot evoluat. Cantitatea însemnată de date furnizate de senzori, și posibilitățile extinse de calcul ale unității de comandă, largesc cadrul variabililor de decizie asupra acțiunilor posibile ale robotului peste capacitatea de urmărire directă completă a operatorului uman.

În consecință, instruirea unui robot industrial evoluat nu mai poate fi un proces secvențial de înregistrare în memorie a acțiunilor efectelor, și un proces mai complex de tip "formulare de problemă", (25). Prin limbajul de instruire, ca mijloc de comunicare cu unitatea de comandă, operatorul generează structuri de date și acțiuni care modelează mediul de lucru și mediul de transformare a lui conform aplicației.

Având în vedere complexitatea și nouitatea problemei instruirii roboților industriali evoluți, prin deficiențele urmă-

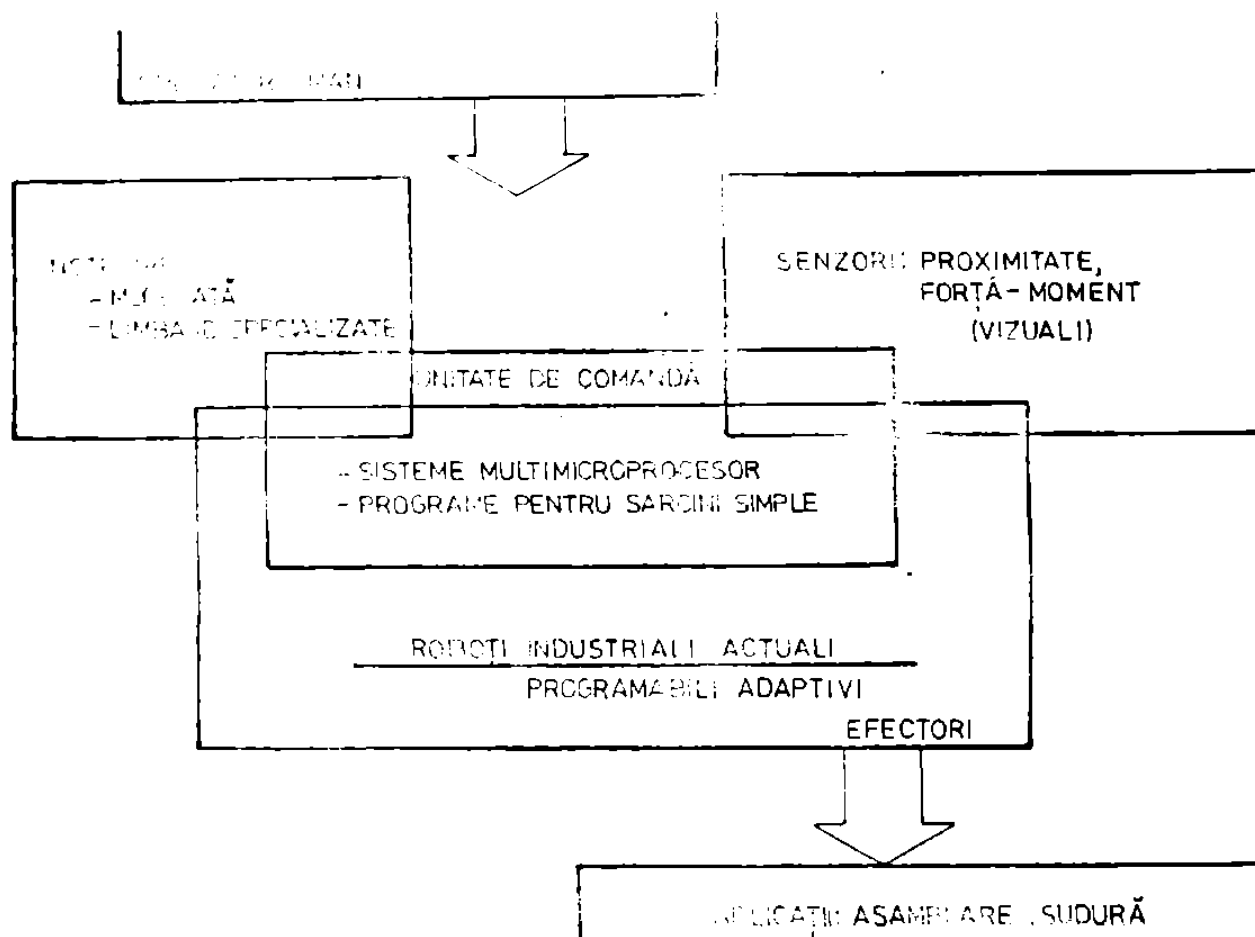


Fig.2.1.1. Caracteristicile principale ale subsistemelor unui robot industrial evolutiv.

toare precizați principalii factori implicați, notații și noțiuni ce vor fi utilizate în lucrare în continuare.

Definiția D.2.1.1.

Numia univers natural al unui robot industrial într-o clasă de aplicații, mulțimea de obiecte și relații între ele, care intervin în descrierea mediului de lucru cuprinzând obiectivul final al aplicației, sînt detectate cu ajutorul senzorilor robotului și constituie obiectul de acțiune al robotului conform directivelor primite în procesul de instruire.

Prin instruire robotul este capabil pentru execuția independentă a transformărilor universului natural pînă la obținerea stării obiectiv cerute de aplicație. Execuția independentă cere înregistrarea în memoria unității de comandă, în procesul de

instruise, a unui model al mediului, în vederea coordonării acțiunilor efecturilor cu datele culese de senzori.

Definiția D.2.1.2.

Reprezentarea simbolică abstractă a universului natural al robotului în memoria unității de comandă constituie modelul intern asupra mediului de lucru și este rezultatul comunicației cu operatorul uman în procesul de instruire.

Obiectivele instruirii roboților evoluți pot fi grupate în modul următor:

1. Stocarea în memoria unității de comandă a modelului intern al universului natural al robotului.
2. Precizarea stării particulare a modelului intern, obiectiv de acțiune a robotului - starea obiectiv.
3. Specificarea algoritmilor de acțiune pentru atingerea stării obiectiv din orice stare intermediară.

Capacitatea de stocare în memoria unității de comandă, a unui model al universului natural al robotului și a stării particulare - obiectiv de execuție a acestui model, sînt rezultatul caracteristicii de programabilitate a robotului industrial. Caracteristica de adaptabilitate a roboților industriali evoluți poate fi apreciată cu reală nuanță atunci cînd instruirea depășește nivelul explicit de precizare a acțiunilor în diferite stări ale universului natural al robotului în sensul următoarei definiții:

Definiția D.2.1.1.

Un sistem de instruire a unui robot industrial induce acestuia caracteristicii adaptive, dacă prin specificarea modelului intern asupra universului natural și a stării obiectiv a acestuia, se generează implicit și mulțimea de acțiuni specifice pe care trebuie să le efectueze robotul pentru atingerea stării obiectiv, pentru fiecare evoluție a semnalelor de la senzori.

Notînd cu (M_E) modelul intern memorat asupra universului natural al robotului, cu (S) și respectiv (EF) stările curente și respectiv obiectiv ale acestui model, programul de acțiune al robotului generat în procesul de instruire se poate exprima formal cu ajutorul următoarei descrieri funcționale:

ALGORITMUL DE ACȚIUNE = INTERPRETARE (M_R) o EVALUARE (E)

Algoritmul de acțiune reprezintă funcția recursivă care generează comenzile de efectuare și se obține prin compunere (operația \circ) funcțiilor de EVALUARE a stării curente (E) a universului natural din semnalele de senzori și INTERPRETARE în cadrul modelului intern (M_R) a relației acestei stări relativ la starea finală obiectiv (O).

O formulare intuitivă a funcției de execuție a robotului este cuprinsă în următoarea specificare de program, care utilizează formalismul limbajelor pentru programarea calculatoarelor de uz general:

PROCEDURĂ ALGORITM DE ACȚIUNE

WHILE < condiție > DO

BEGIN

< condiție > ::= < stare obiectiv \neq evaluare stare curentă >

< execută > ::= { < instrucție > } < instrucție >

END

Eficiența de utilizare a robotului în mediul industrial poate fi obținută numai în cazul în care, în instruire, operatorul are o descriere, prin modelul universului natural, și procedurile de acțiune pentru realizarea stării obiectiv.

Caracteristicile de adaptabilitate ale unei clase de roboți în sensul precizărilor anterioare, sînt limitate la acele stări ale universului natural a robotului care pot fi evaluate de unitatea de comandă cu ajutorul senzorilor.

Definiția D.2.1.4.

Conținutul de adaptabilitate al unui robot industrial este format din mulțimea stărilor universului natural, care admit reprezentări în modelul intern unității de comandă (M_R), prin evaluarea semnalelor obținute de la senzori și pot fi transformate prin algoritmi indicați de operator în termenii limbajului de instruire în mulțimea stărilor finale obiectiv.

Analiza caracteristicilor de adaptabilitate pentru o clasă dată de roboți în sensul definițiilor D.2.1.1 și D.2.1.2 determină lista comenzilor de instruire ce trebuie utilizate de operator. Lista comenzilor de instruire și regulile de utilizare a lor în construcția algoritmilor de acțiune, împreună cu referirile la da-

tele de senzori și directivile pentru efectori formează elementele principale ale limbajului de instruire.

Principali factori implicați în procesul de instruire prezentați prin definițiile propuse formează cadrul general de descriere a procesului de instruire.

Complexitatea subsistemelor unui robot industrial evoluat și diversitatea sarcinilor de execuție impun un cadru teoretic de analiză a metodelor de instruire pentru determinarea unor metode și limbaje de instruire care să asigure eficiența în utilizarea practică.

2.2. Probleme specifice ale instruirii roboților programabili adaptivi

Instruirea roboților evoluți, având ca obiectiv obținerea unor caracteristici de adaptabilitate, se deosebește de instruirea roboților programabili prin aceea că procesul de generare a modelului intern robotului asupra mediului de lucru, trebuie să se desfășoare la un nivel mai ridicat de abstracțiune. Instrucțiunile indicate de operator exprimate în limbajul de instruire, trebuie să transmită unității de comandă a robotului directive pentru construcția și memorarea unui model al mediului de lucru și în același timp ele trebuie să cuprindă implicit algoritmi de execuție pentru atingerea stării obiectiv a acestui model.

În timpul instruirii datele de la senzori și comenzile de execuție vor fi referite frecvent în dialogul operator-unitate de comandă. Ca urmare, dispozitivele de instruire, suport fizic pentru limbajul de instruire, trebuie să ofere posibilități extinse de comunicație între operator și robot. Caracterul interesant al acestor dispozitive în ceest caz este absolut necesar, comunicația desfășurându-se în unele cazuri între operator și robot.

Definiția 2.2.2a1.

Modelul reprezentare interactivă, imaginea continuă prezentată operatorului asupra stării curente a modelului intern robotului asupra universului natural, a instrucțiunilor primite de la operator și a datelor culese de la senzori.

Modelul intern unității de comandă referitor la mediu este rezultatul condensării prin instruire a structurilor de date

prin intermediul reprezentării interactive.

Instruirea roboților este o aplicație de tip formulare de problemă, greu formalizabilă în reguli sintactice stricte.

Principiile de abstractizare și "ascundere" a informației care au stat la baza dezvoltării limbajelor de programare de uz general /1/, sînt de asemenea impuse de complexitatea problemei limbajelor pentru instruirea roboților evoluți.

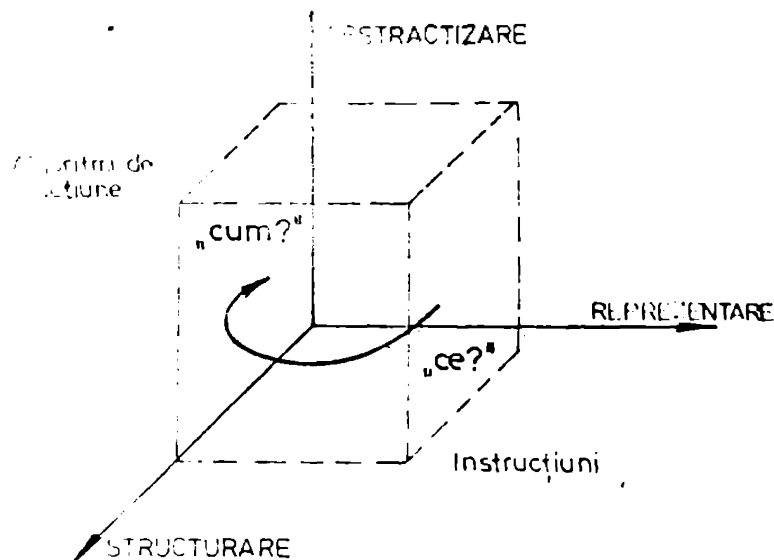


Fig.2.2.1. Necesități de abstractizare și structurare în procesul de instruire a unui robot industrial.

Întrebările Refinitorii, pentru procesul de instruire a roboților industriali evoluți: "ce știe, ce poate ... și unde este eficient un robot industrial" /7/, se reflectă și din construcțiile sintactice ale instrucțiunilor. Reprezentările implicite folosind noțele abstracte ale realității avînd ca bază conceptul de tip de date, ("ce ?") în mod necesar trebuie să concorde logic cu reprezentările algoritmice ale programelor de execuție ("cum ?").

Instrucțiunile transmise de operator concretizînd paradigmele "ce ?" și "cum ?", au caracter particular sau de ansamblu relativ la universul natural și sarcina obiectiv, au naturi specifice, diferite și se cer îmbinate în mod unitar, conform figurii 2.2.1

În figura 2.2.2 sînt prezentate schematic caracteristicile mesajelor comunicate între operator și robot în timpul instruirii. Instrucțiunile referitoare la acțiuni specifice de efecteri, avînd

ca bază datele de senzori cu caracter particular, sînt precizate explicit de operator în instruire.

Instrucțiunile cu caracter general de ordin tactic însă, cer o considerare de ansamblu relativ la întregul sistem, implicînd procese de abstractizare în reprezentare din partea operatorului.

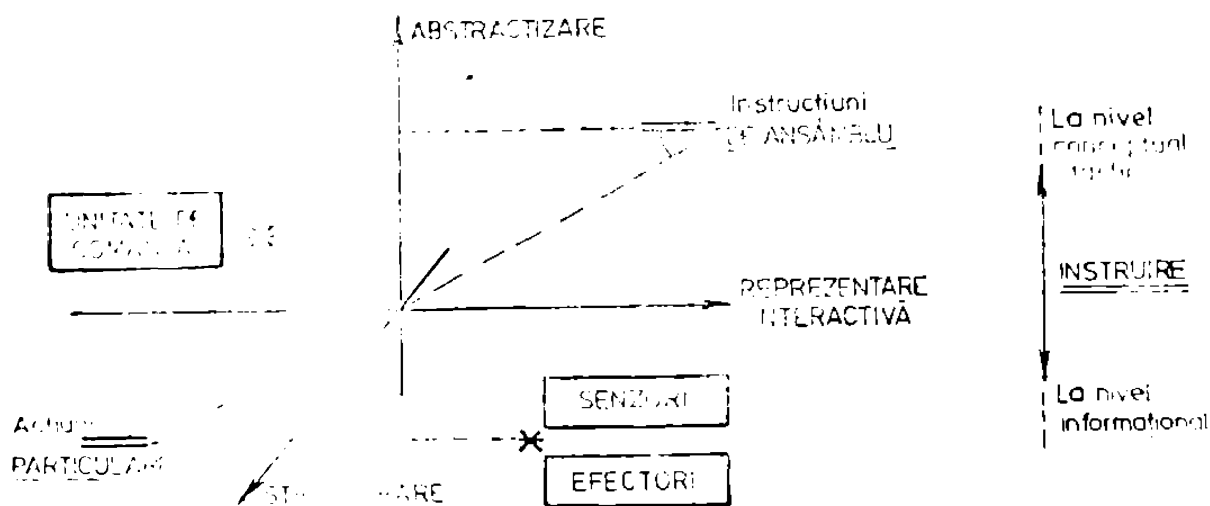


Fig.2.2.2. Caracteristicile de generalitate a instrucțiunilor transmise robotului în procesul de instruire.

Reprezentarea interactivă, prin intermediul dispozitivului de instruire utilizează descrierea abstractizată a modelului universului natural al robotului, formând cadrul concret de instruire prin care operatorul leagă aspectele particulare de cele de ansamblu.

Concluzia principală care rezultă din această analiză a procesului de instruire este că metodele de instruire a roboților industriali evoluați au o caracteristică necesară și anume generalitatea, în sensul integrării coerente a aspectelor cu caracter particular de cele cu caracter de ansamblu. Această caracteristică de calitate specifică instruirii roboților evoluați este dificil de înțeles și în ceea ce privește diferită de precizie și utilizare a acestor două noțiuni de precizie și de alor în procesul de instruire, relativ la momentul execuției.

La instruire, prin natura procesului, operatorul precizează datele și acțiunile robotului pe rând, construind în esență

unității de comandă un model al universului natural și soluția scopului urmărit.

În momentul execuției programelor memorate în procesul de instruire, date sau instrucțiuni primite, sînt evaluate cu date recepționate de la senzori și utilizate pentru decizia de acțiune de către unitatea de comandă.

În figura 2.2.2 se dă o reprezentare schematică a nodurilor diferite de coordonare a datelor și instrucțiilor în instruire și execuție.

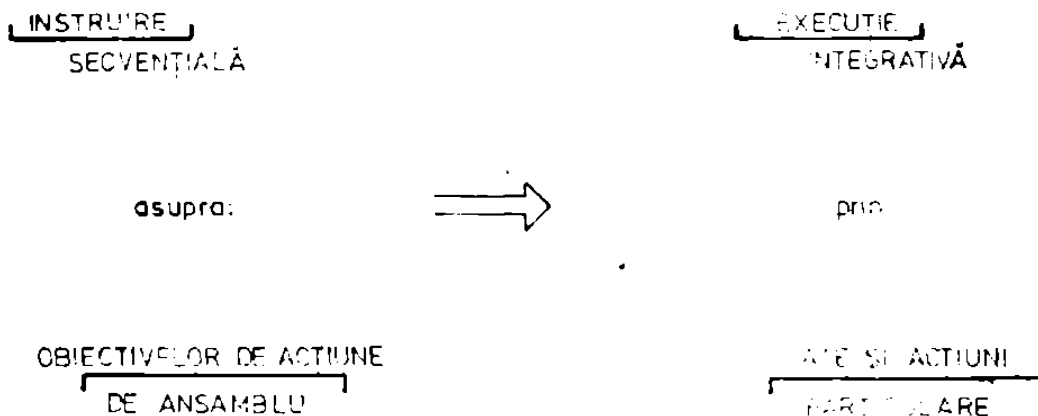


Fig.2.2.3. Caracteristici de coordonare a instrucțiunilor și datelor în instruirea unui robot industrial.

Avînd în vedere caracteristicile specifice ale instruirii roboților programabili adaptivi prezentate mai sus, este necesar ca specificarea și implementarea metodelor și limbajelor de instruire pentru acest tip de roboți să se bazeze pe analiza relațiilor de interacțiune a subsistemelor ansamblului operator-robot - mediu.

Analiza relațiilor de interacțiune și comunicarea simbolice asupra datelor între subsistemele unui robot industrial este posibilă numai prin construcția unor modele detaliate a structurii interne a acestor subsisteme ca unități de prelucrare a datelor, ca urmare a funcțiilor lor în ansamblul sistemului. Avînd în vedere că funcțiile de prelucrare a datelor pentru fiecare subsistem, sînt precizate de operator prin intermediul limbajului de instruire, ca principal mijloc de specificare a subsistemelor și a comunicației de date între ele, considerăm potrivită utilizarea teoriei limbajelor formale drept cadrul matematic de modelare.

În capitolele următoare problema instruirii roboților evoluți este analizată utilizînd pentru fiecare subsistem un model

al funcției îndeplinite în ansamblu prin limbajul formal natural asociat subsistențului. În vederea unei considerări unitare a aspectelor de reprezentare simbolică și relevanță funcțională (semantice), se specifică pentru fiecare sistem limbajul natural asociat.

În acest cadru de modelare, caracteristicile specifice instruirii roboților industriali adaptivi pot fi analizate cu ușurință, după cum este exemplificat prin specificarea instruirii grafice interactive a roboților programabili adaptivi pentru aplicații de sudură.

CAPITOLUL 3.

MODELAREA PRIN LIMBAJ A SUBSISTEMELOR UNUI ROBOT INDUSTRIAL SI A INTERACIUNII LOR

3.1. Limbajul model al unui sub sistem și funcția lui în comunicația cu alte subsisteme

Mulțimea acțiunilor utile ce pot fi efectuate de un robot industrial constituie obiectul principal al comunicației operatorului uman cu robotul în procesul de instruire. În execuție independentă, subsistemele robotului (senzori, unitate de comandă, efectori) comunică din același unghi de vedere asupra mediului natural diferit de aplicație, și cauzează realizarea sarcinii obiectiv de acțiune. Datele și structurile de acțiune pentru atingerea obiectivului se reflectă în funcțiile fiecărui sub sistem al robotului, coerența în comunicație între subsisteme fiind asigurată numai în cazul unei reprezentări exacte asupra acestor date în cadrul fiecărui sub sistem în deplină concordanță cu celelalte.

Formalizarea într-un cadru unitar a structurilor de date comunicate cât și a funcțiilor îndeplinite de subsisteme asupra lor, necesită modele ce vor fi utilizate de operator ca suport logic de instruire.

Modelarea prin limbaj a universului natural al unui sub sistem, reprezentat de structurile de date vehiculate și de funcțiile de prelucrare a lor satisface exigențele de exactitate necesare, și oferă suport de construcție a unor metode de instruire eficiente.

Experiența practică acumulată în programarea calculatoarelor utilizată în lucrare ca și cadru de referință, relevă două

aspecte principale ale formalizării prin limbaj a unei realități /56/, în cazul de față universal natural al sistemului, conform următoarelor definiții:

Definiția 2.1.1.1.

Principalele elemente de descriere a universalului natural al unui subsistem și mulțimea relațiilor între ele reprezentate printr-un simbolism, definește sintaxa (F) a limbajului natural asociat subsistemului.

Definiția 2.1.1.2.

Interpretarea externă subsistemului asupra funcțiilor îndeplinite de subsistem în ansamblu referitor la prelucrarea datelor și reprezentarea lor simbolică în alte subsisteme cu care interacționează constituie semantica (S) limbajului natural asociat subsistemului.

Ca model pentru un subsistem, un limbaj natural asociat îndeplinește două funcții principale:

a) cadru de specificare a structurii interne de date utilizate de subsistem și a prelucrărilor efectuate asupra lor conform funcției subsistemului în ansamblu;

b) instrument de descriere a comunicației subsistemelor așa cum apar ele în reprezentarea unitară a operatorului uman, factorul integrativ al sistemului.

În această modelare un subsistem este specificat de:

Definiția 2.1.1.3.

Modelul unui subsistem este limbajul natural asociat, notat cu tripletul:

$$L = \langle S, F, f : S \rightarrow F \rangle$$

funcția f , descrie legătura între interpretarea semantică și reprezentările ei sintactice /56/.

În vederea precizării metodelor de instruire adecvate unor clase de roboți, pentru fiecare subsistem al robotului se adoptă un model reprezentat de limbajul natural asociat.

Precizarea corelată a celor două aspecte ale modelului are o importanță majoră în cazul roboților industriali, datorită

existenței în cadrul sistemului a mai multe subsisteme interconectate. Utilitatea acestei modelări pentru procesul de instruire a roboților industriali evoluți, derivă din faptul că principalul ei obiectiv este coordonarea funcțiilor subsistemelor componente robotului într-un tot unitar în vederea capacitării lui spre acțiuni utile.

Legarea mai strinsă a aspectelor semantice și sintactice apare ca o necesitate, cu atât mai mult în cazul instruirii roboților cu cât interrelațiile între limbajele naturale asociate subsistemelor constituie instrumentul principal în instruire și sursa de dificultăți în metodele de instruire actuale.

În figura 3.1.1. este prezentată o schemă generală a sistemului operator-robot-mediu. Subsistemele componente formează două bucle de interacțiune; latura comandă fiind subsistemul generator de acțiuni asupra mediului.

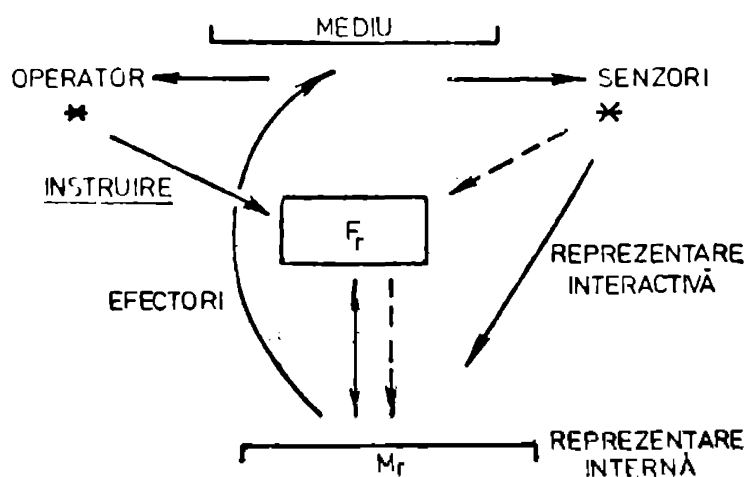


Fig.3.1.1. Relații de interacțiune între subsistemele ansamblului operator-robot-mediu.

Subsistemele componente principale ale ansamblului, fiecare cu o structură internă complexă interacționează în două situații:

a) în instruire - operatorul uman este subsistemul principal. el generează prin dispozitivul interactiv de instruire în memoria unității de comandă modelul universului natural al robotului și algoritmul de transformare a lui în starea obiectiv. Subsistemele senzori și efectori sînt necesare în acest proces doar pentru a putea fi referite în programele unității de comandă, pentru precizarea sarcinilor de acțiune.

b) In execuție - subsistemul unitatea de comandă devine principal, modelul memorat al universului natural și algoritmi de acțiune programați prin instruire preluând funcțiile de control.

In figura 3.1.2 este prezentat modelul detaliat, de ansamblu, al sistemului operator-robot-mediu, indicând limbajele de subsistem și relațiile între ele în cele două situații : instruire și execuție /12/.

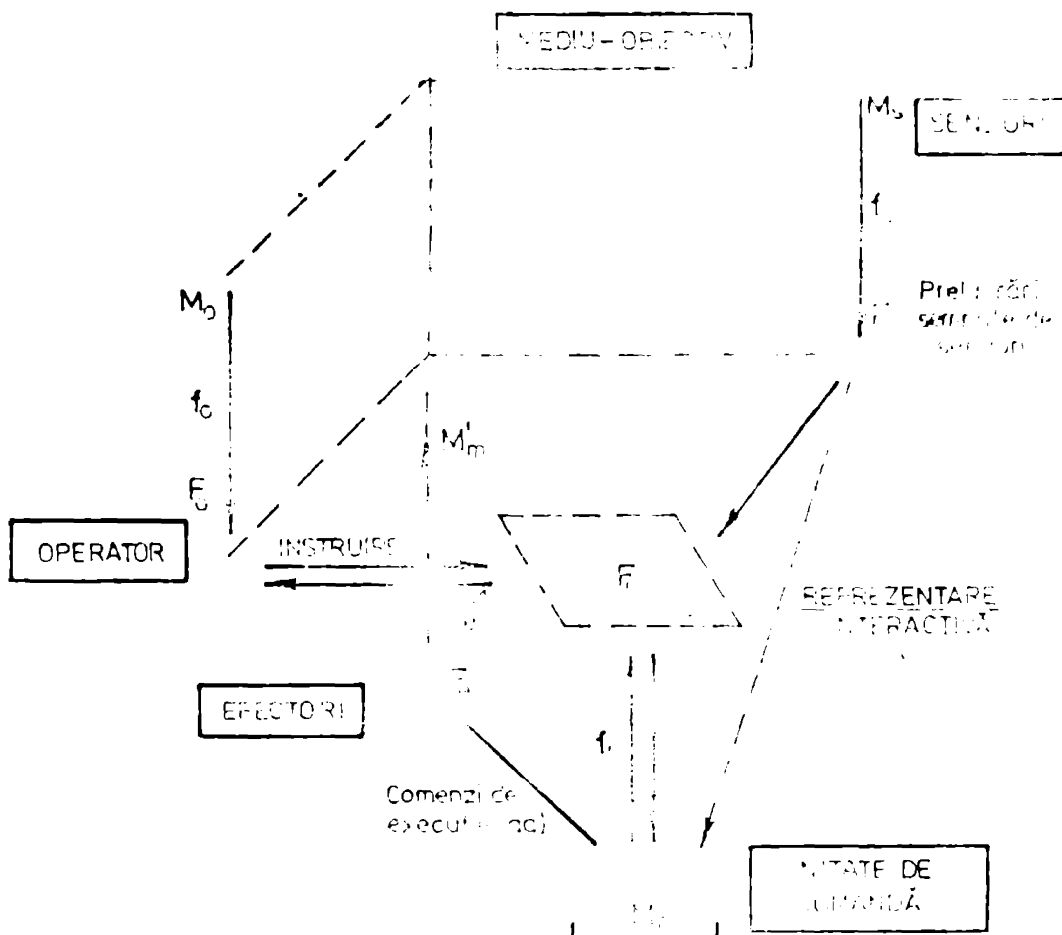


Fig.3.1.2. Modelul de ansamblu al sistemului operator - robot-mediu reprezentând subsistemele componente prin limbajul natural asociat.

Considerând specificarea unitară sintaxă-semanticoă pentru limbajul natural asociat fiecărui subsistem, se pot distinge din ansamblu următoarele limbaje natural asociate: subsistemelor principale:

SENZORI: $L_s = \langle M_s, F_s, f_s : M_s \rightarrow F_s \rangle$

UNITATE DE COMANDA: $L_R \text{ instruire} = \langle F_0 \cup M_R, F_R, f_{R1} : F_0 \cup M_R \rightarrow F_R \rangle$
 $L_R \text{ execuție} = \langle M_R, F_0, f_{\text{algoritmi de acțiune}} : M_R \rightarrow F_0 \rangle$

EFFECTOR: $L_0 = \langle M_0, F_0, f_0^{-1} : F_0 \rightarrow M_0 \rangle$

Limbaajul (L_R) natural asociat senzorilor descrie funcția de prelucrare a semnalelor culese din mediul de lucru (M_R) și comunică prin simbolismul (F_R) cu unitatea de comandă.

Modelul intern memorat al universului natural al robotului (M_R) constituie referința semantică de acțiune în execuție independentă, este generat de operator în procesul de instruire utilizând limbaajul de instruire prin intermediul reprezentării interogative (F_R).

Intrucât în procesul de instruire operatorul precizează și algoritmi de acțiune ce vor fi utilizați în execuție, la semnificația unității de comandă în instruire trebuie adăugată mulțimea (F_0), proprie operatorului, modelând logica metodei de instruire.

În execuție, modelul memorat (M_R) constituie referința după care sînt generați algoritmi de acțiune, exprimați de funcția $f_{\text{algoritmi de acțiune}}$ în limbaajul comenzilor pentru senzori (F_0).

Limbaajul (L_0) natural asociat efectoarelor, conform poziției în ansamblu este descris mai bine de funcția inversă, (f_0^{-1}), de asociere a rezultatului de acțiune (M_0) la comenzile date de unitatea de comandă (F_0). Acest fapt este și consecința sensului unic de comunicație de la unitatea de comandă la efectori, întotdeauna un subsistem condus.

Analizînd sistemul operator-robot-mediu, conform reprezentării prin limbaajul natural asociat subsistemelor prezentat în figura 3.1.2, se disting ca necesare relații fundamentale precizate în propozițiile prezentate în continuare:

Propoziția P.3.1.1.

Modelul memorat intern (M_R), este o reprezentare abstractă a universului natural al robotului (M_0), este echivalent cu acesta în interpretările folosite în instruire și descrie complet totuși structura de relații care intervin în clasa de aplicații considerată.

Interpretări (M)_R \subset M_0

In execuție, prin acțiunile robotului configurațiile (stările) universului natural al robotului sînt transformate din stările momentane în starea obiectiv, noțiuni definite în continuare:

Definiția 2.3.1.4.

Starea curentă (ST) a universului natural, devine precizată în memoria unității de comandă prin evoluarea datelor de senzori, reprezentate în simbolismul Γ_g , ca o interpretare a modelului intern (M_g).

$$ST = \text{Evaluare } (\Gamma_g) \subset \text{interpretări } (\Gamma_g)$$

Definiția 2.3.1.5.

Obiectivul de acțiune al robotului este starea finală (SF) a universului natural, memorată în procesul de instruire și este reprezentabilă ca o interpretare în (M_g).

Stările momentane (ST) sînt transformate de robot în stările finale (SF) ale universului natural, prin execuție în unitatea de comandă a unor cazuri particulare de algoritmi de acțiune aleși conform situației, specificați în timpul instruirii.

Definiția 2.3.1.6.

Programul de acțiune al unui robot într-un caz particular de aplicație este descris de operator în timpul instruirii în termenii unor expresii de comenzi, algoritmi de acțiune (aa), specificați de următoarea funcție:

$$f_{aa} : (ST) \ominus (SF) \rightarrow P_g$$

Operația de comparație a stării finale (SF) cu starea curentă (ST), notată cu simbolul \ominus , împreună cu specificarea funcției f_{aa} , constituie elementele metodei de instruire proprii operatorului uman (Γ_g).

Intrucît la nivel (semantic) operator, universul natural al robotului este echivalent cu interpretările modelului memorat (M_g), referitor la stările curente (ST) și (SF), conform propoziției 2.3.1.1, rezultă următoarea relație necesară între funcțiile f_{aa} și f_{aa}^{-1} .

Propoziția 2.1.2.

Relația generator de acțiune descrisă de funcția f_{aa} este inversă (semantic unic determinat) transformărilor universului natural specificate de funcția f_0^{-1} .

$$f_{aa} = 1/(f_0^{-1})$$

Relația de inversiune trebuie înțeleasă în sensul unei relații de bijectivitate la nivel semantic de aplicație, chiar dacă simbolic și formal cele două funcții sînt reprezentate diferit.

În capitolul 4 al lucrării se analizează această relație pentru cazul roboților programabili instruiți cu ajutorul pașurilor de instruire. Intrucît în acest caz, sintaxa simbolică utilizată, mișcări în spațiul coordonatelor de cuple cinematice, este o reprezentare directă și explicită a descrierii semantice a universului natural, cele două funcții sînt neajlocit inverse:

$$(f_{aa} = (f_0^{-1})^{-1} = f_0)$$

Metoda de instruire în acest caz însă nu induce caracteristici de adaptabilitate robotului. Caracteristici de adaptabilitate reale apar numai în cazul în care domeniile de definiție a acestor funcții ca interpretări ale modelului memorat (M_p), respectiv acțiunii ale robotului, sînt constituite din elementele sintactice compuse, de nivel superior, fără a cere precizarea detaliilor de caz particular care apar în situații concrete.

Un astfel de exemplu este prezentat în capitolul 6 al lucrării, prin specificarea limbajului grafic interactiv al robotului RALF-2-5. Operatorul precizează într-un limbaj de nivel sintactic superior, reprezentat de secvențe de traiectorie, sarcinile de acțiune și modelul memorat intern. Metoda de instruire este în acest fel naturală și induce robotului caracteristici de adaptabilitate.

Modelarea prin limbaj natural asociat subsistemelor unui robot industrial poate fi utilizată în două ipostaze:

a) Pentru o clasă dată de roboți industriali, prin analiza limbajelor de subsistență și a limbajului de instruire utilizat de operator, se poate deduce domeniul de aplicații în care acești roboți pot fi instruiți cu caracteristici de adaptabilitate.

b) Pentru un domeniu de aplicație precizat, se pot determina caracteristicile subsistemelor robotului pentru o instruire

naturală și în același timp domeniul de adaptabilitate al robotului.

Analiza caracteristicilor de interacțiune a subsistemelor unui robot industrial, utilizând modelul de limbaj natural asociat fiecărui subsistem, necesită însă un cadru riguros de descriere a structurii interne a sintaxei și semanticii limbajelor naturale ale subsistemelor.

În paragraful următor al acestui capitol al lucrării sînt prezentate, structura și reprezentarea unui limbaj folosind cadrul matematic al structurilor algebrice heterogene. În această reprezentare simbolică sintactică este vizibilă legătura de aspectele funcționale semantice.

Acest mod de reprezentare formală, detaliată și exactă a unui limbaj, satisface exigențele de complexitate necesare rezolvării problemei instruirii roboților industriali conform metodei prezentate.

3.2. Structura internă a limbajului model natural pentru un subsistem al unui robot industrial

Reprezentarea formală printr-un model, a unei anumite realități, necesită un cadru matematic de reprezentare de suficientă generalitate în care să poată fi descrise relațiile de structură specifice ale noțiunilor care caracterizează această realitate.

Prin natura aplicației, un robot industrial aparține unui spațiu geometric real.

Formulările matematice uzuale ale geometriei universului natural al unui robot industrial în cadrul geometriei euclidiene punctuale, algebrei vectoriale etc., aparținînd categoriei algebrelor universale comportă dificultăți [21], fiind prea detaliate și rezultînd de obicei în complicarea reprezentării.

Universul natural al unui robot industrial cuprinde o mulțime diversă de obiecte cu relații și noțiuni cărora le lipsește proprietatea de universalitate, întrucît fiecare clasă de obiecte este caracterizată de relații proprii. De asemenea, interpretările de semnificație semantică pentru diferite subsisteme ale robotului au caracter parțial și trebuie să fie coordonate în operator în timpul instruirii. Apare astfel necesitatea structurării universului natural pe nivele ierarhice, construite unele din altele în mod unitar prin compunere.

Aceste caracteristici de heterogenitate și structură ierarhică, justifică alegerea cadrului teoriei algebrelor heterogene pentru reprezentarea modelului de limbaj natural asociat subsistemelor unui robot industrial.

În anexa A.1, sînt prezentate definițiile noțiunilor fundamentale ale teoriei algebrelor heterogene, pornind de la algebrele universale, și algebrele de cuvinte, precum și elementele de limbaje formale ce vor fi utilizate în lucrare /57/, /56/, /47/, /43/.

În continuare se prezintă modul de utilizare a acestor noțiuni în modelarea structurii interne a limbajelor naturale pentru subsistemele unui robot industrial.

Formalizarea unitară a aspectelor sintactice și semantice ale limbajului natural asociat unui subsistem al unui robot industrial are la bază noțiunile de: specificare, interpretare și algebră de cuvinte, ca modele de reprezentare conform definițiilor de mai jos.

Conceptul de specificare, descrie pentru un sistem elementele fundamentale și relațiile între ele, într-un cadru general abstract pornind de la modul de comportare (funcționare) a sistemului.

Definiția D.3.2.1. /20/

Specificare : SUBSISTEM

Mulțimi de bază : AUM I -mulțimea tipurilor elementare și compuse de obiecte,
S -mulțimea simbolurilor pentru relațiile peste I.

Schemă de operație: $x \in h_k$

$$x \stackrel{\text{def}}{=} \langle n, s_0, s_1, \dots, s_n, i_1, i_2, \dots, i_n, i \rangle$$

n -aritatea operației x,

s_0, s_1, \dots, s_n -simbolul operației distribuit asupra operanzilor,

i_1, i_2, \dots, i_n, i -tipurile domeniului și codomeniului operației.

Axiomă : U -identități caracteristice structurii mulțimii de relații h_k .

Se remarca faptul că mulțimile I și S pot fi organizate ca semigrupuri, în timp ce întreaga specificație poate fi organizată ca o algebră heterogenă.

O specificație este o descriere generală a tipului sistemului. Ea va fi numită bază și se va nota cu:

$$B = \langle IUC, R_k, U \rangle$$

Generalitatea acestei noțiuni poate fi restrinsă pentru a descrie atât semantica cit și sintaxa unui limbaj natural, folosind noțiunea de interpretare. Acest mod de construcție a sintaxei și semanticii unui limbaj scită dificultățile întâlnite curent în definirea limbajelor prin alegerea arbitrară a unei sintaxe și o considerare ulterioară a semanticii ei.

Definiția 2.3.2.2. /20/

Fiind dată o bază $B = \langle IUC, R_k, U \rangle$ o interpretare a bazei B în mulțimea Ω este definită de funcțiile φ și ψ după cum urmează:

(i) $\varphi(i) = u_i, \quad i \in I$

(ii) $\psi(r_k) = \omega : u_{i_1} \times u_{i_2} \times \dots \times u_{i_n} \rightarrow \dots$
 $\omega \in \Omega$ - operație heterogenă în Ω .

(iii) axiomele U sînt considerate satisfăcute.

Se nota interpretarea bazei B în Ω cu $\langle (\varphi_i)_{i \in I}, \psi \rangle$. În mod practic la construcția și specificării și determinarea prin interpretare a semanticii și sintaxei unui limbaj se pornește cu analiza funcționalității sistemului, adică a semanticii și apoi cu formalizarea ei în specificația B , care în acest caz va descrie exact semantica limbajului.

Pentru un limbaj $L = \langle R, S, f : R \rightarrow S \rangle$, după descrierea specificației B care descrie semantica, sintaxa(S) a limbajului se construiește de asemenea ca o interpretare a bazei B , conform definiției următoare.

Definiția 2.3.2.3. /56/

Sintaxa naturală a unui limbaj specificat de baza $B = \langle IUC, R_k, U \rangle$ este algebra liberă de cuvinte $\mathbb{F}(XU\Omega)$, unde X denotă constantele și variabilele sintactice iar Ω simbolurile de reprezentare a operațiilor primitive și compuse, ca notații pentru relațiile $r \in R_k$ din specificație.

În vederea cuprinderii axiomelor U din specificare, mulțimea $XU\Omega$ trebuie restrinsă la mulțimea generatorilor liberi ai algebrei de cuvinte $\mathcal{W}(XU\Omega)$, care este mulțimea $XU\Omega/U$, care, în continuare se va nota tot cu $XU\Omega$ pentru simplificarea notației.

Vom considera că această restricție a fost inclusă în funcțiile de interpretare φ' și ψ' pentru construirea sintaxei pornind de la baza B . În acest context limbajul natural asociat unui subsistem al unui robot industrial, specificat de baza B , este:

$$L = \langle B = [(X_{i_1})_{i_1 \in I_0}, \Omega], \mathcal{F} = [\mathcal{F}_i(X)_{i \in I_0}, \mathcal{R}', \psi'] \rangle$$

Funcția f de asociere a sintaxei cu semantica exprimă relația naturală de asociere a celor două interpretări ale bazei B care descrie comportarea și în același timp unitar, reprezentarea subsistemului.

Se poate demonstra că cele două algebre heterogene construite ca interpretări ale bazei B sînt homomorfe /56/.

Fiind dată semantica unui limbaj natural ca interpretare a bazei B , prin intermediul funcțiilor de interpretare φ și ψ , sintaxa limbajului este unic determinată, dacă se specifică funcția de asociere a tipurilor și operațiilor primitive conform următoarei propoziții:

Propoziția 2.3.2.1. /56/

Sintaxa unui limbaj L natural asociat unui sistem, caracterizat de baza $B = \langle XU\Omega, \mathcal{R}, \mathcal{F} \rangle$, avînd interpretarea semantică f în \mathcal{W} definită de funcțiile φ și ψ , se obține ca unică extensie la L a funcției de asociere a sintaxei f_0 , definită numai pentru tipurile primitive, I_0 și a operațiilor primitive Ω_0 :

$$f_0 : (X_{i_1})_{i_1 \in I_0} \rightarrow XU\Omega_0, \quad \mathcal{F}_0, I_0 \subset I$$

Această metodă de construcție a sintaxei ca o algebră heterogenă de cuvinte liber generată de tipurile și operațiile primitive, poate fi utilizată cu succes în determinarea unor metode naturale pentru instruirea roboților industriali.

În procesul de instruire operatorul generează în mod natural construcții sintactice pentru descrierea unui subsistem prin limbajul natural asociat, respectiv funcțiile de interpretare φ și ψ ale semanticii, adică funcționalitatea subsistemului în ansamblu.

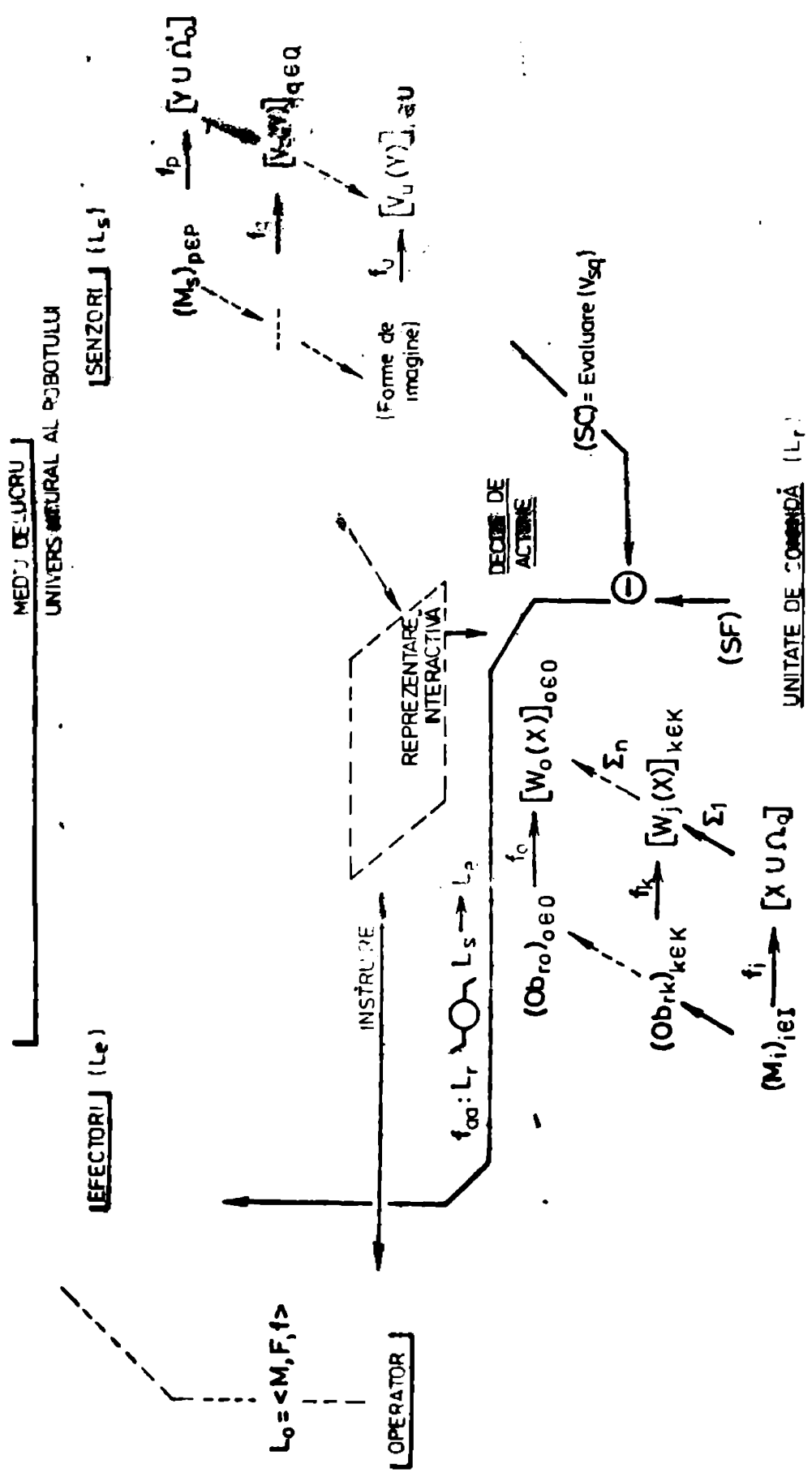


Fig. 3.2.1. Modelul general al sistemului operator-robot-mediu, indicând structura internă a limbajelor de subsistem.

Aşa cum a fost arătat în cap.2, procesul de generare a constructelor sintactice, reprezentând date şi operaţii care descriu funcţiile subsistemelor în ansamblul operator-robot-mediu, este un proces secvenţial în care universalul natural, memorat intern în unitatea de comandă, este construit prin compunerea tipurilor primitive în tipuri structurate compuse.

În cadrul formal al descrierii, al structurilor algebrice heterogene, având ca motivare descrierea unitară a sintaxei şi semanticii limbajelor naturale asociate subsistemelor, operaţia de adăugare secvenţială de noi proprietăţi organizează universalul natural al subsistemului într-o structură ierarhică de algebre heterogene /56/.

Nivelele ierarhice descriu universalul natural al subsistemului la diferite grade de abstractizare, prin precizarea funcţiei lui în ansamblu, în termenii unor structuri obţinute prin compunerea celor de nivel ierarhic inferior.

Nivelele de descriere a limbajului pot fi considerate ca algebre heterogene construite pe nivelele imediat inferioare, care apar ca baze de specificare.

Obiectele compuse ale nivelului ierarhic superior, sînt construite din obiectele nivelului inferior utilizînd schemele de operaţie ale bazei, care în acest caz este algebra heterogenă de nivel imediat inferior. Modul de comportare, descriind domeniile şi condiţiile schemelor de operaţie în termenii obiectelor mulţimilor suport, este descris de o funcţie de specificare care descrie proprietăţile şi relaţiile caracteristice noului nivel de structură.

Acest mecanism de structurare ierarhică se manifestă atât la nivel semantic cât şi la nivel sintactic, în mod unitar ambele aspecte fiind construite ca interpretări ale unei unice specificări funcţionale.

În figura 3.2.1 este prezentat un model al sistemului operator-robot-mediu, prin limbajele naturale asociate subsistemelor, indicînd structura lor internă şi relaţiile de integrare în ansamblu.

Subsistemele senzari şi unitatea de comandă ca şi componentele principale ale sistemului sînt reprezentate prin algebrele de cuvinte construite peste alfabetul variabilelor şi operaţiilor primitive ale specificării, fiind organizate pe nivele ierarhice.

funcțiile de interpretare și descriu modul de construcție a reprezentării sintactice ca algebră de cuvinte homomorfă cu interpretarea semantică funcțională a subsistemelor.

Reprezentările sintactice la diferite nivele ierarhice ale limbajelor naturale asociate subsistemelor unitate de comandă și senzori, pot fi considerate ca limbaje formale, algoritmice peste alfabetele variabilelor și operațiilor primitive ale specificării universului natural. În această interpretare, fiecare cuvânt al limbajului descrie procesul de calcul care modelează o funcție a subiectului în ansamblu.

În același mod, comenzile pentru subsistemul efectelor reprezentate prin simbolismul (\mathcal{L}_e), reprezintă algoritmi de acțiune îndreptați spre transformarea universului natural prin intermediul dispozitivului terminal al robotului.

În procesul de instruire operatorul precizează stărilor modelul intern (\mathcal{M}_r) al universului natural, starea finală obiectiv (\mathcal{S}_F), cât și modul de evaluare a stării curente (\mathcal{S}_C), utilizând simbolismul sintactic al limbajelor de subsistem prin intermediul reprezentării interactive.

Pentru a da eficiență procesului de instruire și a dota robotul cu caracteristici adaptive este necesar ca operatorul să utilizeze în precizarea programului de acțiune, conform definiției D.3.1.2, un nivel ierarhic cât mai ridicat al ierarhiei interne a limbajelor de subsistem.

Vom nota prin (k) nivelul ierarhic al specificării universului natural al robotului în termenii căruia, ca noțiuni primitive, operatorul precizează modelul memorat intern (\mathcal{M}_r), starea finală obiectiv (\mathcal{S}_F) a lui și progresul de execuție.

Reprezentările sintactice ale specificării universului natural până la nivelul (k) descriu funcțiile de prelucrare a datelor implementate constructiv pentru fiecare subsistem.

Relațiile de compatibilitate reciprocă a limbajelor asociate subsistemelor unui robot industrial evoluat, într-o clasă de aplicații, integrarea lor în ansamblul sistemului, determină nivelul maxim posibil de generalitate în termenii căruia ca noțiuni primitive să se efectueze instruirea, conform următoarei propoziții:

Propoziția P.3.2.2.

Limbaajul de instruire al unui robot industrial, cu gradul de abstractizare maxim posibil într-o clasă de aplicații, este limbaajul liber generat de elementele primitive la nivelul ierarhic (k) al specificării universului natural, ales astfel ca reprezentările sintactice ale limbajelor naturale asociate subsistemelor componente, unitate de comandă, senzori și efectori pînă la acest nivel, să fie limbaje formale independente de context.

Demonstratie:

Conform propunerii de specificare a reprezentării sintactice a limbajelor naturale asociate subsistemelor unui robot industrial, acestea sînt algebre de cuvinte homomorfe, eventual pînă la un anumit nivel de structură, cu specificarea universului natural (M_P) a robotului în clasa de aplicații considerată. Integrarea unitară, în ansamblu, a subsistemelor unui robot industrial reprezentate de limbajele naturale asociate, conform propoziției P.3.1.2, impune ca interpretările semantice funcționale în baza cărora a fost construită reprezentarea sintactică a limbajelor să fie echivalente.

Interpretarea semantică a tipurilor de "obiecte" de calcul a limbajului natural asociat subsistemului, conform metodei de specificare unitară a sintaxei și semanticii prezentate, este cuprinsă în simbolurile (e_0, s_1, \dots, s_n) de notare a operațiilor. Acest simbol anumește tipul de obiect de calcul în reprezentare sintactică și poate fi utilizat ca un selector de semantică.

În anexa A.1 este indicată o proprietate a algebrelor heterogene libere de context /56/, din care rezultă că unicitatea de interpretare semantică, în cazul a două reprezentări sintactice diferite, este specifică limbajelor independente de context. În cazul nostru, rezultă că, limbajele de subsistem pot păstra unicitatea de interpretare semantică cerută de propoziția P.3.1.2, numai în cazul în care reprezentările sintactice considerate pînă la nivelul de structură (k), sînt limbaje independente de context, ceea ce demonstrează propoziția P.3.2.2.

Această propoziție determină limbaajul de instruire de maximă generalitate al unui robot într-o clasă de aplicații și are importante consecințe practice în rezolvarea problemei programării

prin instruire a roboților evaluați cu caracteristici adaptive.

Pentru un tip specificat de roboți, utilizați într-o anumită clasă de aplicații, prin utilizarea modelării prin limbaje natural asociate subsistemelor componente ale robotului se poate determina nivelul maxim de abstractizare la care operatorul poate efectua programarea prin instruire.

Cu cât este mai ridicat nivelul de structură ierarhică al specificării universului natural la care se face instruirea, aceasta devine mai eficientă, iar robotul instruit în acest mod dobândește caracteristici de adaptabilitate.

Caracteristicile de adaptabilitate ale unui tip de robot în clasă de aplicații considerată pot fi explicit determinate conform propoziției următoare, consecință imediată a propoziției P.3.2.2:

Propoziția P.3.2.3.

Domeniul de adaptabilitate al unui robot industrial, evaluat pentru o clasă de aplicații, este dat de mulțimea transformărilor universului natural al robotului în clasă de aplicații considerată, cu interpretări semantice ale expresiilor algebrei de cuvinte liber generate de tipurile de obiecte și operații ale specificării universului natural până la nivelul (k) de structură.

Consecința de importanță practică a acestei proprietăți rezultă din faptul că, permite determinarea caracteristicilor posibile de adaptabilitate ale unui robot industrial într-o clasă de aplicații, în funcție de nivelul de abstractizare utilizat în limbajul de instruire.

Cadrul matematic de modelare propus, oferă un suport ferm de analiză a problemelor instruirii roboților industriali. În această abordare limbajele model ale subsistemelor robotului sunt determinate în mod unic la nivel semantic, reprezentând aspectele de funcționalitate a subsistemului în ansamblu, cit și la nivelul reprezentării simbolice sintactice.

Reprezentarea explicită a caracteristicilor de structură a specificării universului natural al robotului și a limbajelor model ale subsistemelor, permite respectarea principiilor de abstractizare în alegerea noțiunilor primitive pentru limbajul de instruire.

În mod practic, prin utilizarea acestor modele de descriere și analiză a ansamblului operator-robot-media, se poate determina metoda de instruire optimă relativ la caracteristicile de adaptabilitate induse robotului și eficiența procesului de instruire.

CAPITOLUL 4.

METODA SI DISPOZITIVE DE INSTRUIRE PENTRU ROBOTII PROGRAMABILI ADAPTIVI ACTUALI

4.1. Instruirea condusă prin panoul de instruire. Limite de aplicabilitate

Instruirea condusă prin panoul de instruire, valorifică caracteristica de programabilitate a roboților industriali și se distinge în primul rând prin simplitatea constructivă a panoului precum și prin naturalitatea utilizării lui de către operator.

Fiecare tastă de panou corespunde unei funcții unice de comandă de mișcare sau auxiliară. Ca urmare, tastele corespund elementelor primitive ale limbajului de instruire și în consecință, complexitatea instrucțiilor, ce pot fi transmise unui robot industrial folosind numai panoul de instruire, este limitată la succesiuni simple de comenzi primitive.

Roboții industriali programabili actuali, instruiți după această metodă nu dispun de senzori, în afara unor senzalizări de sincronizare, de tip binar, schimbate cu mașinile unelte și dispozitivele auxiliare.

Sarcinile procesului de instruire în aceste condiții sînt restrinse la precizarea succesiunii algoritmilor de acțiune care decur din mișcări ale dispozitivului terminal. Un mediu intern pentru universul natural al robotului nu este necesar a fi precizat în instruire, întrucît întreaga buclă de interacțiune este eliminată prin lipsa senzorilor.

Toate buclele de interacțiune între subsistemele componente se închid prin intermediul operatorului, care trebuie să anticipeze soluții tuturor problemelor de execuție.

Mulțimea stărilor finale obiective sînt generate prin conducerea robotului, cu ajutorul panoului, în aceste stări și înregistrarea în această succesiune în memoria unității de comandă a coordonatelor de cuple cinematice.

Spațiul liniar ordonat al coordonatelor de cuple cinematice constituie un model primitiv al operatorului asupra universului natural al robotului. Reprezentarea sintactică în memorie a acestui univers natural este mulțimea n -tupurilor de numere binare, obținute de la traductoarele incrementale de poziție.

Spațiul geometric euclidian reprezentînd mediul de lucru este modelat deci de un spațiu n -dimensional punctual ordonat, reprezentînd coordonate de cuple cinematice ale structurii mecanice a robotului.

În figura 4.1.1 este prezentat un proiect de panou de comandă propus de autor [20] destinat roboților de tip R&M, pentru instruirea punct cu punct, condusă din panou. Tastele de mișcare pe axe, reprezentate simbolic prin semnele (\rightarrow , \leftarrow , \uparrow și \downarrow , etc.), descriu comenzile de mișcare pe axe.

Panoul de comandă propus include pe lângă comenzile de mișcare necesare conducerii cuplelor cinematice și taste numerice pentru precizarea explicită a coordonatelor țintă, precum și taste de comandă pentru lansarea în execuție a programelor implementate constructiv de alegere a regimurilor de funcționare (învățare, modificări, vizualizări execuție). Operatorul are control direct prin aceste comenzi la datele memorate pentru vizualizare și eventuale corecții.

Este evident însă că, deși acest tip de panou ajută operatorul în procesul de instruire, nu determină o creștere a performanțelor robotului.

Carcinile de acțiune sînt explicit precizate de operator în termenii coordonatelor de cuple cinematice, caracteristicile de adaptare ale robotului astfel instruit fiind născute.

Proprietatea de mulțime ordonată a spațiului cuplelor cinematice permite formularea algoritmilor de acțiune, reprezentînd mișcarea între două poziții țintă cu ajutorul armăturului program implementat constructiv unității de comandă a robotului:

PROCEDURE ALGORITM DE MIȘCARE

WHILE $(C_1)_F - (C_1)_G \neq 0$ DO

BEGIN

$C_1 = \text{SIGN} \{ (C_1)_F - (C_1)_G \} ;$

$$(C_1)_0 = (C_1)_c + \Delta C_1$$

LSD

Cu $(C_1)_p$ și $(C_1)_c$ au fost notate respectiv coordonatele cuplelor cinematice în starea finală țintă și în starea curentă. Universul natural (U_p) al robotului este complet descris de mulțimea stărilor (n -tuple) cuplelor cinematice.

În instruire operatorul construiește modelul intern (M_p) al acestui univers, în aceeași termenii de bază, n -tuple de coordonate. În consecință, reprezentarea semantică și sintactică a limbajului natural asociat unității de comandă L_p , coincid. O reprezentare formală a limbajului L_p ca specificare a universului natural al robotului este dată în continuare.

Propoziția 4.4.1.1.

Universul natural al unui robot programabil cu j axe instruit cu ajutorul unui penou de instruire este specificat de următoarea gramatică generativă:

$$G = (\Sigma_T, \Sigma_N, P, A)$$

- $\Sigma_T = \{C_1^+, C_1^-\}_{i=1,2,\dots,j}$; vocabular terminal (mişcări de bază)
- $\Sigma_N = \Gamma$; vocabular neterminal (ținte)
- $P = \{ \begin{matrix} C_1^+ & \rightarrow & C_1^+ \\ C_1^- & \rightarrow & C_1^- \end{matrix} \}_{i=1,2,\dots,j}$; producții (comenzi de mișcare)
- $A = \{ \begin{matrix} \Gamma & \rightarrow & \Gamma \\ \Gamma & \rightarrow & A \end{matrix} \}$; simbol de start (poziție de referință, ex.: "acasă")

Mulțimea stărilor posibile ale cuplelor cinematice este echivalentă cu mulțimea cuvintelor generate de gramatica $G(L_p)$.

În acest context, programul de execuție cuprinde doar algoritmul de mișcare între două ținte și poate fi reprezentat ca o restricție în derivare a gramaticii de specificare a universului natural.

Propoziția 4.4.1.2.

Gramatica programată $G_p = (C, IG_N)$ definită prin:

$$G(L_p) = (\Sigma_T, \Sigma_N, P, A)$$

$$\Sigma_T = \{C_1^+, C_1^-\}_{i=1,2,\dots,j}$$

$$\Sigma_N = \Gamma$$

$$\begin{aligned} (1) & \dot{q}_1 = \text{SIGN} \{ (q_1)_{P_{n+1}} - (q_1)_{P_n} \} \cdot (1) \cdot (2) \\ (2) & \dot{q}_1 = - \text{SIGN} \{ (q_1)_{P_{n+1}} - (q_1)_{P_n} \} \cdot (1) \cdot (2) \\ (3) & \dot{q}_1 = (q_1)_{P_n} \end{aligned}$$

construcția mal, înca comenzilor pentru efectele reprezentând algebră
mul de mișcare liberă între două ținte $(q_1)_{P_n}$ $(q_1)_{P_{n+1}}$ necesare
în procesul de instruire.

Sensul de mișcare și succesiunea pașilor simpli este pre-
cizat de funcția de selecție $\text{SIGN} \{ (q_1)_{P_{n+1}} - (q_1)_{P_n} \}$. Acest caz
este caracteristic roboților fără mișcare controlată pe traiecto-
rie între punctul inițial și final.

Intrucât gramatica $G_p(L_p)$ este inerent ambiguă, în sensul
succesiunii în timp a derivării, referitor la mișcările unitare
axă, traiectoriile urmate de cuple cinematice sînt arbitrare în-
tre cele două puncte țintă.

Înstruirea acestei gramatici cu un limbaj de control au-
pre succesiunii de utilizare a producțiilor în timp, se poate
realiza prin înlocuirea funcției SIGN , cu o funcție $f \{ (q_1)_{P_{n+1}},$
 $(q_1)_{P_n} \}$ care implementează forma traiectoriei, și este caracte-
ristică roboților cu mișcare după o lege cunoscută (dreaptă, cerc,
etc.) între puncte, sau cu o funcție $f \{ (q_1)_{P_{n+1}}, (q_1)_{P_n}, \theta \}$ în
cazul specificării vitezei de avans pe traiectorie.

Acest cadru formal de descriere a instruirii conduce prin
pencil de instruire permite precizarea exactă a avantajelor, de-
avantajelor și limitelor de aplicabilitate în cazul roboților
dotați cu senzori.

Avantajul acestei metode de instruire este că operatorul
utilizează în procesul de instruire nu coordonatele de cuple ci-
netice, ci mișcările elementare pe axe (\uparrow , \downarrow , \rightarrow , etc.) (re-
prezentate de producțiile (1), (2) gramaticii $G_p(L_p)$).

Această metodă este actuală operatorului, întrucât descrie
relația semantică de ordine a pozițiilor corespunzătoare ale
dispozitivului terminal. Se justifică astfel utilizarea ei major
pentru instruirea roboților industriali programabili actuali.
Caracteristicile de adaptabilitate ale unui robot astfel instruit
sînt minime.

Utilizarea acestei metode la instruirea roboților dotati
cu senzori evoluanți comporta dificultăți. Precizarea limbajului

de control pentru gramatică $G_p(L_p)$, obiectiv caracteristic al procesului de instruire, se complică excesiv, întrucît el va cuprinde referiri la semnalele obținute de la senzori.

Stările posibile ale universului natural evaluate cu semnalele de senzori trebuie să fie explicit precizate. În consecință, caracteristicile de adaptabilitate ale robotului instruit în acest mod, în sensul definiției D.2.1.4, nu pot fi considerate ca reale.

Completarea panoului de instruire cu o reprzentare interactivă în care modelul intern să fie structurat pe nivele de complexitate, în concordanța cu specificarea semantică a universului natural, este soluția necesară și naturală a problemei. Operatorul poate fi scutit în acest caz de calitatea de expert în programare, reclamată de precizarea efectivă a funcției de control (f_c) asupra limbajului de descriere a universului natural al robotului.

Dispozitivele grafice interactive de instruire devin o necesitate în acest caz, întrucît spațiul geometric al cuplurilor oinematice nu poate fi descris eficient prin utilizarea unor gramaticii generative simple.

Pentru implementarea unor metode de programare prin instruire care să confere robotului caracteristici adaptive, apare ca o necesitate, detalierea structurii interne a modulelor funcționale a subsistemelor componente, utilizarea unui simbolism de reprezentare la un nivel mai înalt de abstractizare și dispozitive interactive de comunicare operator-unitate de comandă.

4.2. Instruirea interactivă grafică a roboților industriali actuali

Aplicațiile curente și de perspectivă a roboților industriali în procesele de automatizare industrială au o caracteristică comună și anume, faptul că, universul natural al robotului este un spațiu geometric real cuprinsînd obiecte, sarcinile de acțiune impuse robotului referindu-se la mișcări și ordonări spațiale a lor.

Capacitatea robotului pentru efectuarea acestor sarcini de acțiune prin instruire presupune, așa cum este prezentat în capitolele 2, 3 ale lucrării, generarea unui model (M_p) al universu-

lui natural în memoria unității de comandă, specificarea stării finale obiectiv a acestui model și precizarea algoritmilor de comandă a efecturilor pentru realizarea acestei stări obiectiv. Întrucât în procesul de instruire toate aceste informații se transmit robotului prin intermediul reprezentării interactive, prin utilizarea unui simbolism natural operatorului în formularea instrucțiilor, este necesar ca reprezentarea să fie cât mai apropiată de "imaginea" reală a mediului de lucru.

În acest mod sunt eliminate interpretările suplimentare de semnificație a instrucțiunilor pentru unitatea de comandă, care conduc la dificultăți de specificare a reprezentării sintactice pentru limbajul utilizat în instruire.

Dispozitivele de instruire textuală /37/ utilizând afișajele clasice alfanumerice pentru calculatoare de uz general, deși permit o reprezentare sintactică exactă, caracteristica limbajelor de programare de nivel înalt actuale, nu oferă reprezentări care să satisfacă cerințele de naturalețe pentru operatorul uman.

Avantajul major al instruirii textuale, constând în apropierea de limbajul natural uman, nu se manifestă în cazul roboților industriali dotați cu senzori, întrucât obiectele și relațiile geometrice de descriere a universului natural al robotului sînt dificil de precizat în detaliu în cuvinte /10/, /15/.

Experiența acumulată cu dispozitivele de afișaj grafic, utilizate în prezent în proiectarea asistată CAD/CAM, /72/, /73/, relevă avantajul major al acestui tip de comunicare despre un spațiu geometric real.

Prin afișajul grafic se creează un mediu de operare accesibil direct stît operatorului uman cît și unității centrale de comandă a robotului. Această reprezentare bidimensională continuă "vizibilă" de către operator, permite descrierea mai eficientă a realității geometrice modelate, minimizînd transformările mentale necesare în reprezentarea aceleiași realități printr-o succesiune de expresii indicînd relații, cum este cazul limbajului natural uman.

Reprezentarea interactivă grafică a universului natural al robotului ca suport de comunicație între operator și unitatea de comandă, devine prin utilizarea unui afișaj grafic, un canal cu capacitatea de transfer a unei cantități mari de informație, înlesnind operatorului coordonarea datelor locale în structuri de

relevanță de ansamblu.

Deși reprezentarea interactivă are ca principală funcție facilitarea dialogului operator-unitate de comandă, conform locului ei în cadrul sistemului operator-robot-mediu, în acest proces de comunicație se fac referiri esențiale la datele de senzori și la acțiunile efecturilor asupra mediului de lucru.

În baza acestei caracteristici specifice instruirii roboților industriali evoluția a fost conceput și realizat un sistem de reprezentare interactivă format din trei planuri de afișaj superpozate prin "transparență".

În figura 4.2.1 se prezintă schematic relațiile reprezentării interactive triplanare propuse cu subsistemele ansamblului. Planurile de afișaj sînt notate cu (O+K), (I) și (R) și îndeplinesc următoarele funcții:

- (O+K) - planul de reprezentare a comunicației operator-unitate de comandă. În acest plan se afișează modelul memorat intern al universului natural (M_x) și mesajele pentru operator;
- (I) - planul de reprezentare a datelor achiziționate de senzori în urma prelucrării lor primare, pregătite pentru a evalua cu ajutorul lor starea curentă a mediului de lucru;
- (R) - planul de afișare a imaginilor reale (M_r) ale mediului utilizate ca element de referință de către operator în timpul instruirii.

Principiile enunțate au fost utilizate în proiectarea și realizarea unui sistem de instruire grafică interactivă pentru robotul RMT-2-5 conceput pentru aplicații de sudare cu arc în mediu protector.

Obiectivul principal avut în vedere a fost realizarea unui dispozitiv și a unei metode de instruire ușor de utilizat de operatorul uman, care să permită implementarea unor caracteristici de adaptabilitate robotului, în sensul detectării și alinării pe rosturi de sudare liniare sau curbilini deplasate față de poziția evată în timpul instruirii.

De asemenea, pentru a asigura operativitate și eficiență procesului de instruire a fost impusă condiția ca operatorul să nu utilizeze în procesul de programare prin instruire a sarcinilor de instruire pe rostul de sudare în termeni de coordonatele de cuple cinematice a robotului, ci a unui model geometric mai general al rostului de sudare prin segmente de dreaptă.

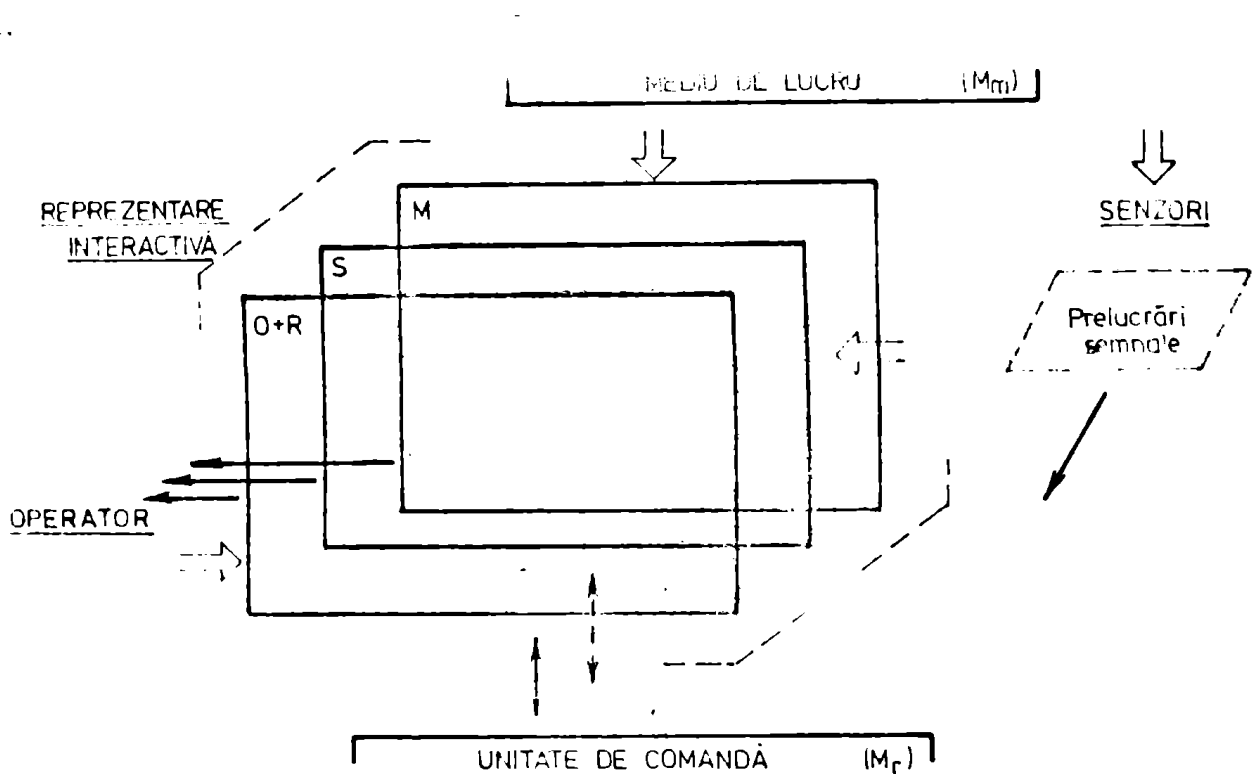


Fig.4.2.1. Structura triplanară a reprezentării interactive.

Dispozitivul de instruire grafică realizat îndeplinește următoarele funcții, în cadrul sistemului:

- a) Achiziția și prelucrarea prin binarizare cu prag variabil a imaginilor de la camera TV;
- b) Suport de generare a modelului memorat intern al restului de sudare prin segmente de dreaptă;
- c) Afișarea simultană pe monitorul TV celor, pe cele trei canale de culoare fundamentale RGB, a modelului de rest de sudare, a imaginii binarizate și a imaginii reale de referință de la camera TV;
- d) Sincronizarea achiziției și prelucrării imaginilor cu deciziile de execuție ale unității de comandă a robotului.

În figura 4.2.2 este prezentată schema bloc a dispozitivului de instruire realizat. Elementul principal este memoria de afișaj împărțită în două pagini, alocate, păstrării imaginilor achiziționate de camera TV, prelucrare primară prin binarizare cu prag variabil și reprezentarea modelului abstract generat de operator pentru universul natural al robotului.

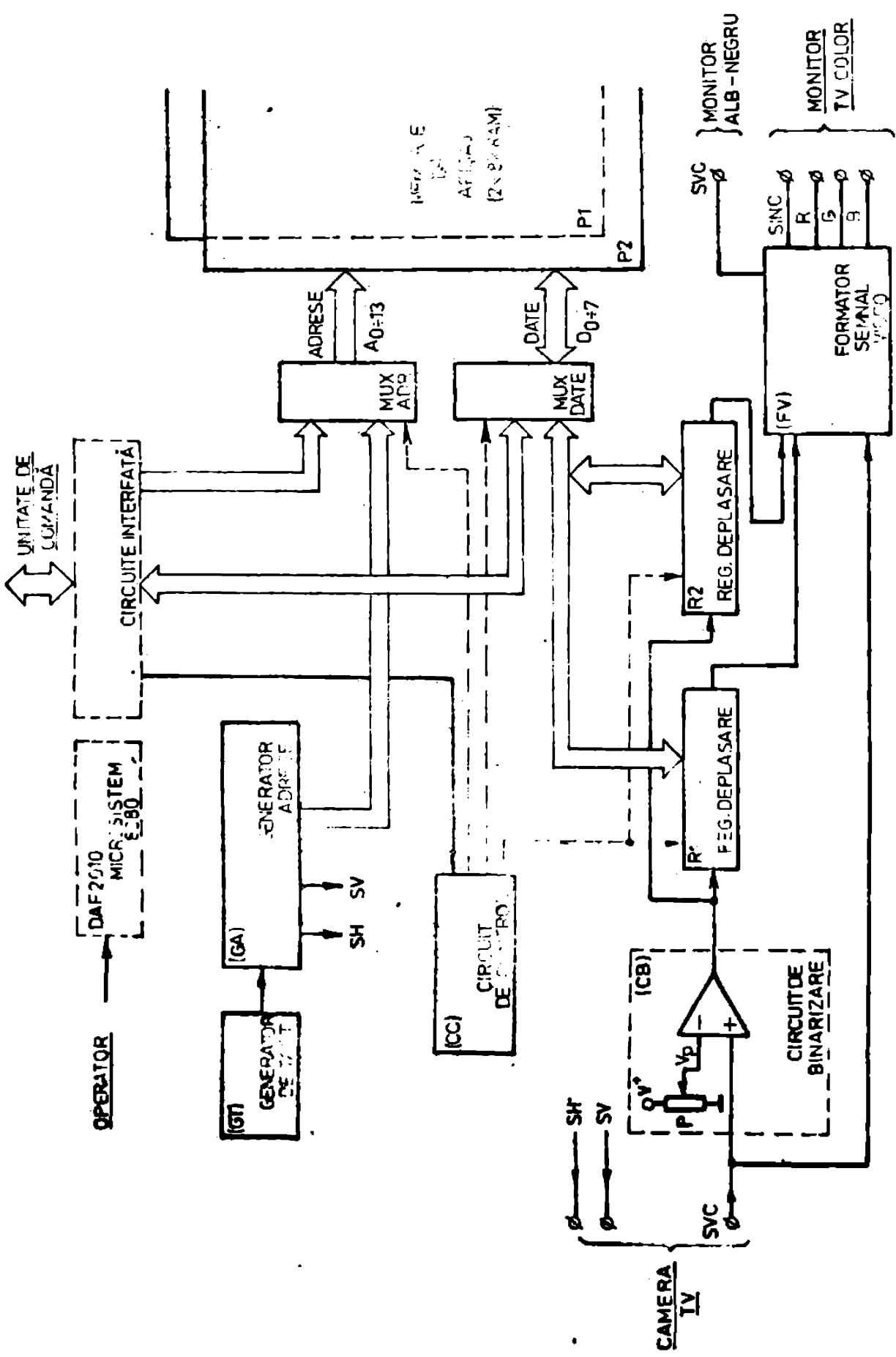


Fig.4.2.2. Schema de principiu a dispozitivului de interactiune pentru televiziune interactiva.

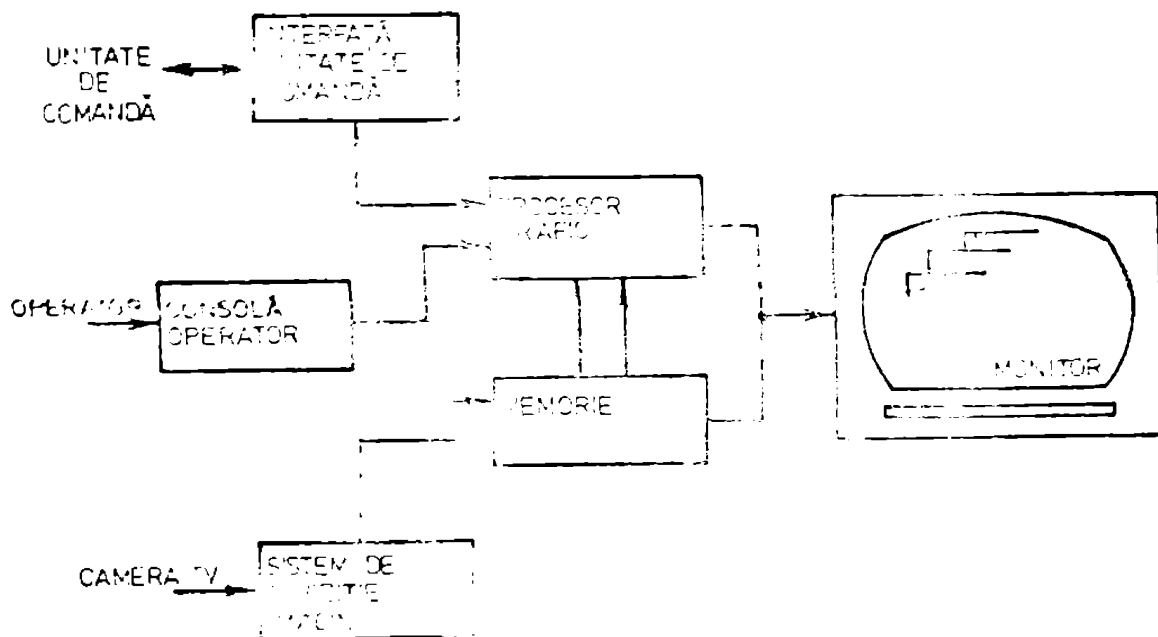


Fig.4.2.3. Schema bloc a dispozitivului de instruire interactiv cu reprezentare grafică triplanară.

Pe monitorul TV color prin cele trei canale RGB, sînt afișate simultan cele două pagini de memorie de afișaj împreună cu imaginea reală obținută de la camera TV.

În figura 4.2.2 este reprezentată schema de principiu a dispozitivului de instruire, în implementarea experimentelor realizate pentru robotul de sudare RENT-2-B. Memoria de afișaj, organizată în două pagini de 6 Kocteți RAM, constituie elementul principal al dispozitivului fiind suportul de memorare pentru reprezentarea interactivă triplanară descrisă.

Capacitatea memoriei determină o rezoluție de 256×256 elemente de imagine pe fiecare pagină.

Pagina 1 reprezentînd planul de afișaj (O+N) este accesibilă direct unității de comandă, ea fiind suportul de generare a modelului universului natural al robotului.

Un codru de imagine de la camera TV după conversia A/N în circuitul de binarizare (CB), este înscris în pagina P2 în timp real, registrele de deplasare R_1 și R_2 asigurînd alternativ conversia serie-paralet și înscrisura în memorie.

Generatorul de adrese (GA), furnizează în regiunea de achiziție, adresele succesive pentru o linie de imagine și adresele

de înălțime a liniilor pentru ordonarea elementelor de imagine în cadru. Pentru reconstituirea semnalului video-complex la afișare și sincronizarea camerei, în generatorul de adrese se sintetizează de asemenea și impulsuri de sincronizare linii și cadre. Atât camera TV cât și monitorul de afișaj sînt sincronizate extern cu aceste impulsuri.

La afișare, paginile de memorie sînt explorate prin adrese succesive în același mod ca la achiziție, în acest caz registrele de deplasare R_1 și R_2 funcționînd în mod încărcare paralel-descărcare serie.

Formatorul de semnal video (FV) cuprinde circuite de atenuare și însumare pentru compatibilizarea ieșirilor numerice TTL, cu standardul de televiziune.

În continuare sînt descrise în detaliu schemele blocurilor principale din circuit:

1. Schema circuitului de conversie binară cu prag variabil controlat manual este prezentată în figura 4.2.4.

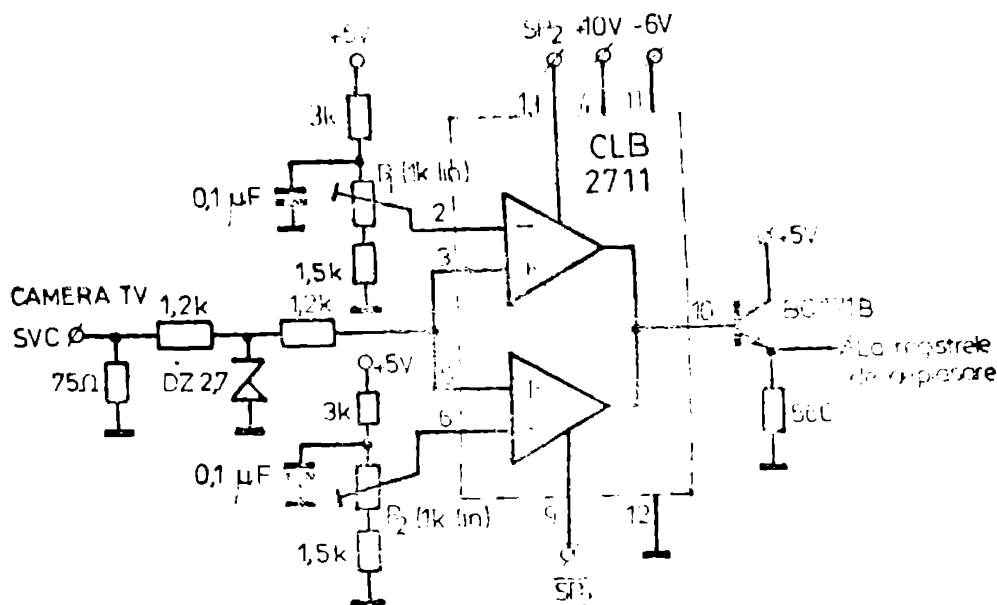


Fig.4.2.4. Schema circuitului de conversie analog numerică prin binarizare a semnalului video de la camera TV.

Cu ajutorul potențioetrelor P_1 și P_2 operatorul ajustează în mod interactiv pragul de decizie pentru binarizare, în așa

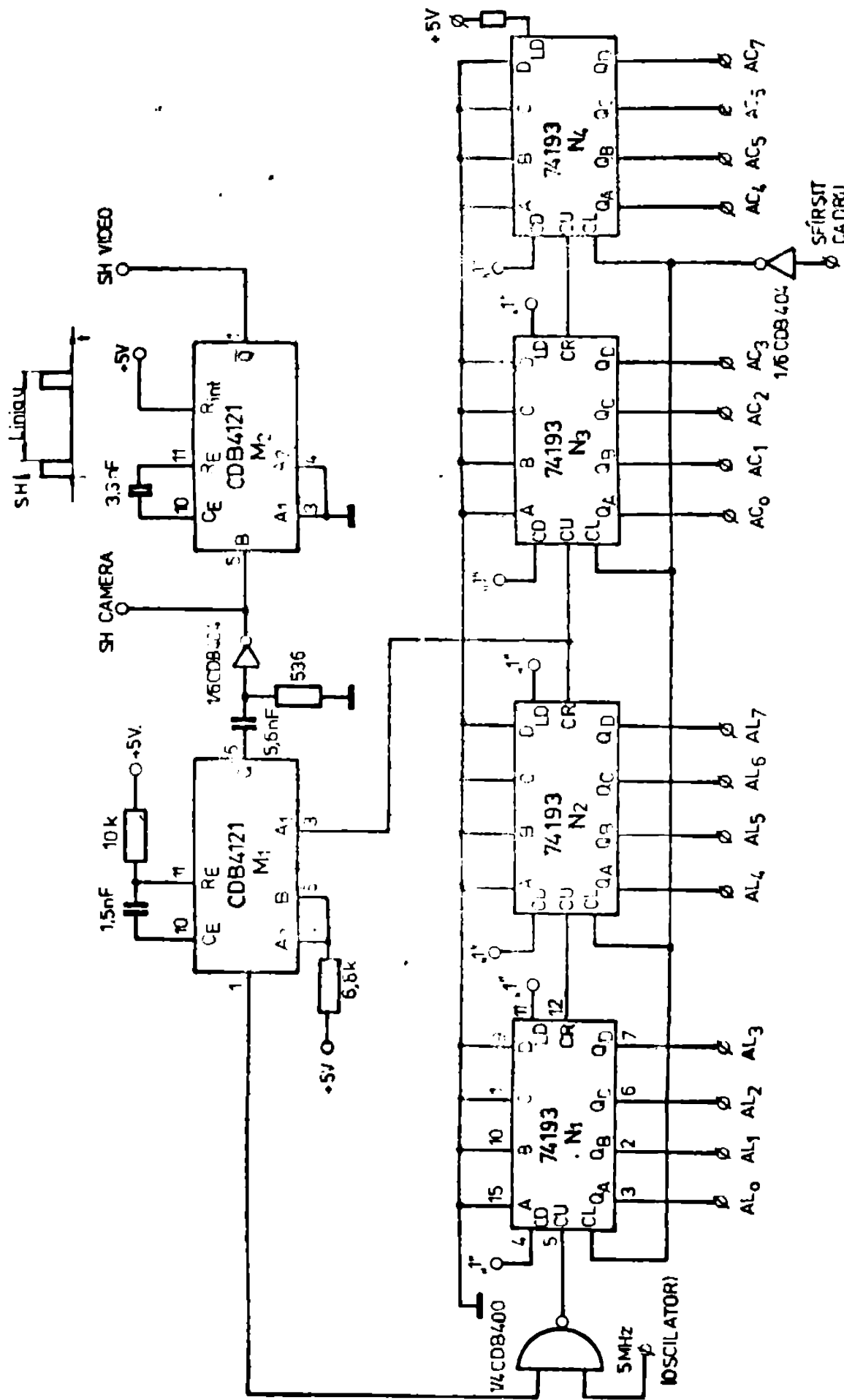


Fig. 4.2.2. Scheme of a 7-bit counter using 74193 ICs.

fel încât suprafețele care prin intersecția lor determină rostul de sudare să rezulte marcate diferit.

Deși schema de achiziție utilizată este de o simplitate evidentă, detecția siluetei pieselor într-un mediu industrial real a fost verificată experimental.

În condiții de iluminare uniformă cu un bec (100 W) în poziție fixă față de cameră și piesele din imagine, suprafețele de piese orientate diferit, (cu înclinații relative diferite) au rezultat în scene de imagine cu marcaj diferit având imagini clare.

Rostul de imagine pentru un plan de afișaj cu dimensiunile de 250x250 elemente, determină următoarea rezoluție pentru imaginea achiziționată:

un element de imagine = 0,5 - 1 mm² de suprafață de piesă

în condiția: D = 200 - 600 mm - distanța camerei față de
piesă

Din motive de flexibilitate în implementarea practică au fost utilizate ambele comparatoare ale circuitului A 2711, în scheme identice, pentru a permite achiziția și în pagina 21 alecătă unității de comandă. Selectarea de pagină este controlată cu semnalul 271 (a se vedea și figura 4.2.7) prin intrările de strobare a circuitului CLR 2711.

2. Generatorul de adrese pentru memorie, care furnizează în același timp și impulsurile de sincronizare, are schema indicată în figura 4.2.5.

Adresele de memorie pentru achiziția semnalului de la camera TV cit și adresele de baleiaj pentru afișaj sînt generate prin numărarea unui tact principal de 5 MHz, obținut prin divizarea impulsurilor de bază de 10 MHz furnizate de un oscilator cu cuarț.

Prinii opt biți ai numărătorului cu 16 biți selectează poziția elementului de imagine în linia de imagine, biții $AL_0 - AL_2$ indică ordinea elementelor în cadrul octetului, iar biții $AL_3 - AL_7$ poziția octetului în linie.

După fiecare linie monostabilele M_1 și M_2 opresc numărarea un timp determinat, generînd impulsurile de întoarcere și sincronizare a liniei (RH).

Biții $AC_0 - AC_7$ numără poziția liniei în cadru. La sfîrșitul fiecărui cadru întregul numărător este ștears de impulsul (C)

se afișează codul, generat de circuitul de sinteză al impulsurilor de sincronizare codului. Impulsul de sincronizare este format de 16 linii, iar impulsul de întocmire codului este format de 54 linii, așa cum este reprezentat în figura 4.2.6.

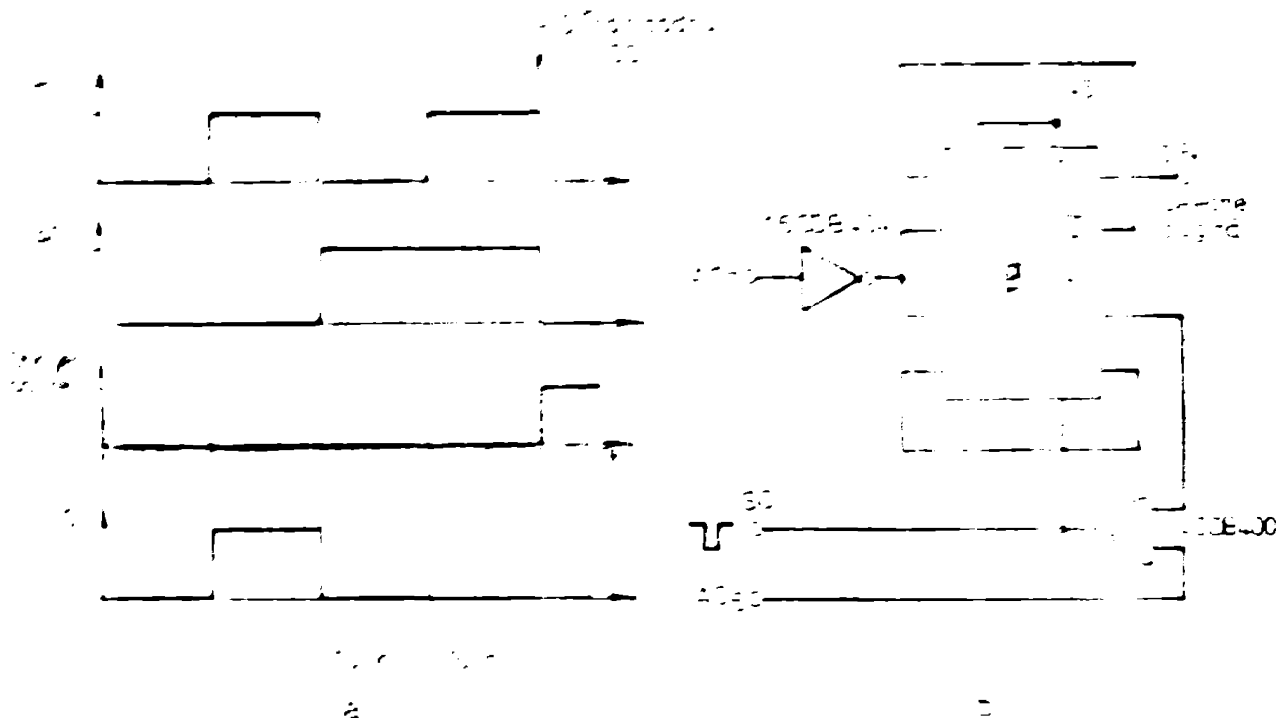


Fig.4.2.6. Schema circuitului de sinteză a impulsurilor de sincronizare codului și afișarea codului.

Deși în această organizare neastandard a cadrului, el cuprinde în total 320 linii, abateră fiind mică (< 5%) nu apar probleme de sincronizare la afișaj pe monitoare standard.

3. Registrele de deplasare E_1 și E_2 , împreună cu circuitele asociate, îndeplinesc funcțiile de conversie serie-paralel și paralel-serie în regim de achiziție și respectiv afișarea a cadrelor de imagine.

Schema circuitului este prezentată în figura 4.2.7, în continuare fiind descrisă funcționarea circuitului în cele două regiuni, de achiziție și de afișare.

Pentru achiziționarea unui cadru de imagine în timp real, au fost prevăzute două registre de deplasare de 8 biți, realizate cu circuite TB 495.

Valorile binare a opt elemente succesive de imagine din canalul video-complex binarizat sînt alternativ încărcate în registre și apoi înscrise în memorie prin comanda cu impulsuri-

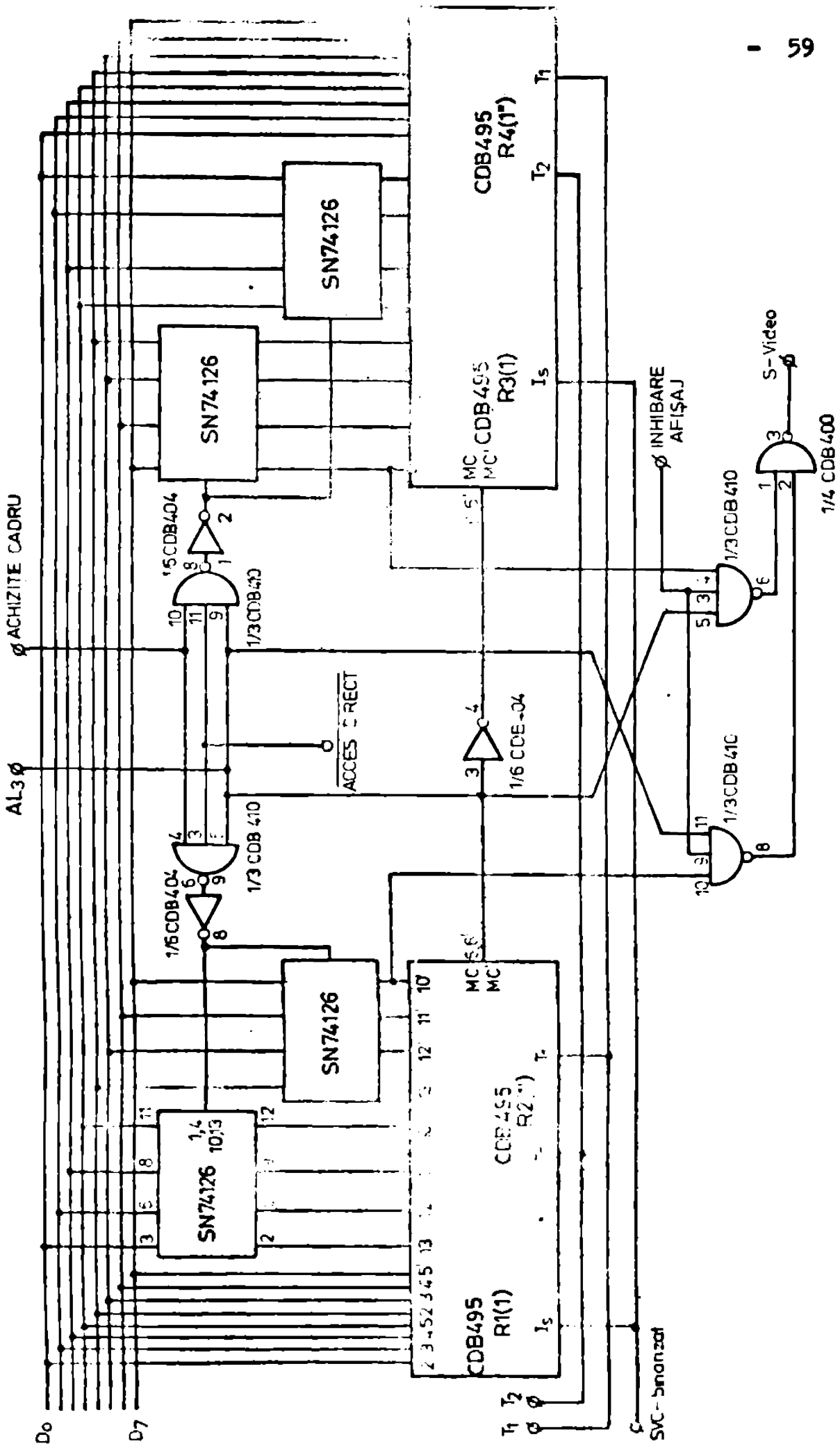


Fig. 4.1.7. Cobec circuitului de conversie serie-paralel și înterfașă cu memoria de imagine.

le de tact T_1 și T_2 , conform diagramei din figura 4.2.d.

Circuitele tampon de magistrală (SN 74126) și comanda de mod (M) pentru registre este asigurată de cel mai puțin semnificativ bit de adresă de succesiune a octeților pe linie (AL_3). Semnalele ACCES DIRECT, ACIZITIE CADRU și INHIBARE AFISAJ arbitrează accesul pe magistrala de date spre memorie. Aceste semnale sînt furnizate de circuitul de control (CC).

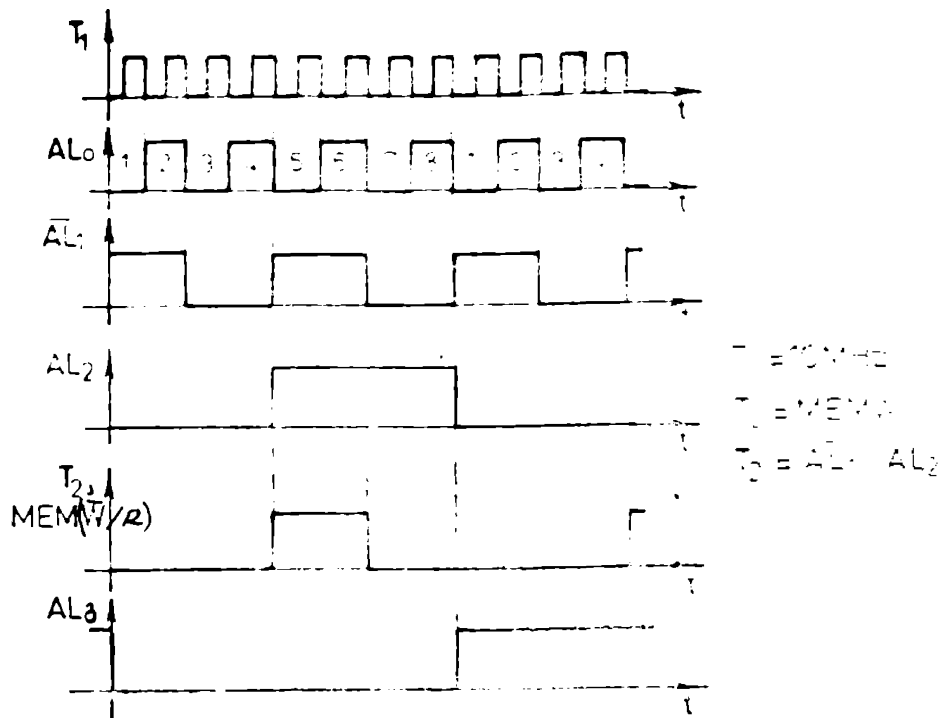


Fig.4.2.d. Diagrama de timp pentru cîteva semnale ale blocului generator de adresă.

În regiă de afișare registrele de deplasare funcționează tot în mod alternativ, cu încărcarea de tip paralel comandată de impulsurile T_2 și deplasare serie cu T_1 , după cum este reprezentat în diagrama din figura 4.2.e.

Semnalul serializat pentru afișaj (S-video) este cules alternativ din cel mai semnificativ bit al registrelor R_1 și R_2 .

4. Circuitele de interfață cu monitorul TV sînt prezentate în figura 4.2.9. Funcția principală a acestor circuite este de a aduce semnalului video (S-video) de la ieșirea circuitelor americane la forma impusă de standardul de televiziune, pentru afișarea pe monitoare TV.

În partea a) a figurii 4.2.9 este reprezentată schema circuitului de interfață pentru un monitor TV alb-negru. În acest caz cele două pagini de afișaj sînt afișate alternativ, luminozitatea elementelor de imagine în cele două pagini este diferită și este determinată de semnalul de pagină SPI, (a se vedea și figura 4.2.8).

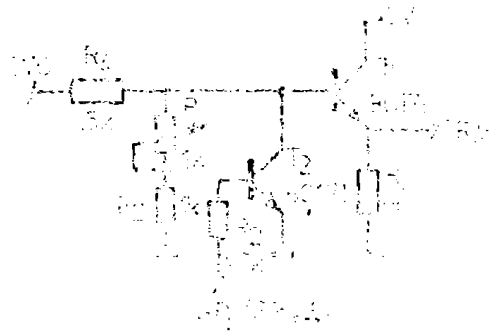
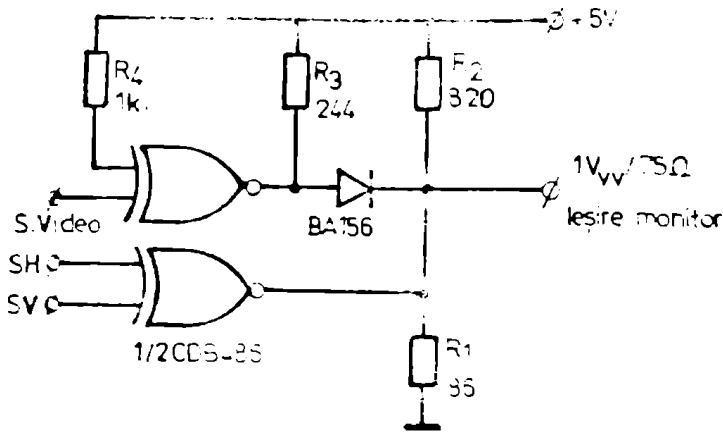


Fig.4.2.9. Schema circuitelor de interfață pentru afișarea imaginilor pe monitoare TV.

Acest mod de afișare succesivă a fost ales pentru a nu complica circuitele de acces la memorie, afișarea simultană cerînd dublarea registrului de date și a registrelor de deplasare.

Efectul de pîlpire al imaginii care rezultă în cazul afișării alternative nu este supărător, decît dacă operatorul se află foarte aproape de monitor.

Partea b) a figurii prezintă schema circuitului de interfață pe un canal de culegere pentru interfața cu un monitor TV color.

Afișarea celor două pagini de imagine este de asemenea succesivă, controlată de semnalul de pagină SPI, (a se vedea și figura 4.2.8) pentru canalele R și B, în timp ce imaginea reală a mediului de lucru (planul W al reprezentării) este afișat continuu pe canalul C.

5. Interfața dispozitivului de instruire interactivă cu unitatea de comandă a robotului și cu operatorul uman au fost realizate prin intermediul unui microsistem cu microprocesorul casei în configurație standard, având ca echipamente periferice un terminal DAB 2010 și o unitate de casetă.

Această soluție a fost lăpușă din motive experimentale, pentru a asigura independența dispozitivului de instruire în varianta experimentală de microsistemul SCAGOM 300 și unității de comandă a robotului, implementat constructiv împreună cu circuitele de forță. De asemenea, în acest mod programele de instruire grafică interactivă au putut fi concepute și testate separat în laborator înainte experimentării lor efective pe robotul de sudare P&T-2-S.

În anexa A.2 a lucrării sînt date listările programelor pentru instruire grafică interactivă, concepute pentru unitatea de comandă a robotului și microsistemul de interfață, în care din motivele indicate au fost implementate o parte din funcțiile unității de comandă.

Programele principale realizate care implementează funcțiile unității de comandă în procesul de instruire și în execuție adaptivă sînt prezentate în continuare:

- P.1. GENERATOR MODEL - Cu ajutorul acestui program, implementat în microsistemul de interfață, operatorul generează în pagină P1 aleasă modelului pentru universul natural de aplicație, un model al rostului de sudare prin segmente de dreaptă.
- P.2. EVALUAREA PARAMETRII DE STARE CURENTĂ - Program de comparare a modelului de rost de sudare prin segmente de dreaptă cu imaginea achiziționată de la camera TV.
- P.3. DECIZIE DE MIȘCARE - În cadrul acestui program parametrii de stare curentă sînt interpretați în termenii deplasărilor elementare de cuple cinematice pentru determinarea mișcării de aliniere pe rostul de sudare.
- P.4. COMANZI DE CUPLE CINEMATICE - Set de programe pentru comanda elementelor de acționare și urmărire a mișcării, incluzînd teste de protecție pentru defecțiunile elementelor de execuție și urmărire.

În continuare este descris modul de utilizare a programului GENERATOR MODEL. Prin intermediul dispozitivului periferic alfanumeric DAF 2010 al microsistemului de interfață, cu programul GENERATOR MODEL, operatorul generează în procesul de instruire, în pagina P1 a afișajului grafic, segmente de dreaptă care aproximează restul de sudură. Segmentele de dreaptă vor fi utilizate de programul EVALUARE PARAMETRI DE STARE CURENTA pentru determinarea poziției relative a restului de sudare.

Pentru generarea segmentului de dreaptă model, operatorul deplasează cu ajutorul tastelor de la terminalul DAF 2010, un marker clipitor afișat prin program, indicând pozițiile punctelor de capăt.

Imagina reală din planul (R) al reprezentării interactive va ajuta operatorul pentru alinierea segmentului de dreaptă cu restul de sudare.

Comenzile recunoscute de program, prin care operatorul precizează segmentele de dreaptă model de rest de sudare, sînt:

- comenzi de deplasare pe ecran a markerului;
- 1 - memorează coordonatele de afișaj ale markerului;
- 2 - trasează în pagina P1, un segment de dreaptă între ultimul punct memorat și poziția actuală a cursorului;
- 3 - adaugă în lista de segmente de dreaptă, ultimul segment de dreaptă trasat.

Utilizînd aceste comenzi, în mod interactiv, operatorul generează în memoria unității de comandă lista de segmente de dreaptă model a sarcinii complexe de sudare, cuprinzînd suduri în mai multe locuri pentru același set de piese.

Este necesar să se precizeze că, acest model este specificat și memorat în termenii de coordonate specifice de afișaj, care corespund coordonatelor din planul de imagine real spre care este îndreptată camera TV.

Pentru a putea să utilizeze acest model împreună cu imaginea achiziționată pentru evaluarea stării curente, este necesară cunoașterea relației reperelor de referință a celor două plane.

Pentru a nu lăsa operatorului descrierea acestui aspect global al problemei, precizăm căre impune cunoașterea și preci-

zarea unor coordonate particulare mereu modificate, a fost aleasă soluția fixării camerei de televiziune în poziție fixă față de capul de sudare /27/. În acest fel, evoluarea parametrilor de stare curentă în termenii mișcărilor elementare de cuple cinematice, referitor la stabilirea reperului de referință, poate fi inclusă inițial în programul DECIZIA DE MIȘCARE.

Dispositivul de instruire grafică prezentat a fost experimentat în laborator și apoi implementat pe robotul de sudare HST-2-6, care a fost dotat cu o cameră TV portabilă de tip Febnotea. Având rol de senzori primitivi, obiectivul urmărit fiind implementarea unor caracteristici de adaptabilitate.

Completarea dispozitivului de instruire inițial al robotului, cu panou classic de instruire, cu dispozitivul grafic de instruire interactivă a permis instruirea robotului pentru execuția unor mișcări de sudură în plan, având caracteristici de adaptabilitate la alinierea pe restul de sudare.

Utilizarea dispozitivului grafic interactiv și reprezentării interactive triplanare descrise a permis descrierea modelului memorat intern al restului de sudare și a sarcinilor de mișcare, într-un limbaj mai general decât coordonatele de cuple cinematice și cauze, segmente de dreaptă care aproximează porțiuni ale restului de sudare.

CAPITOLUL 5.

INSTRUIREA INTERACTIVA A ROBOTULUI DE SUDURA RSMR-2-6

5.1. Caracteristicii specifice ale instruirii roboților industriali în aplicații de sudare

Implementarea roboților industriali în aplicații de sudare este apreciată de analizele de perspectivă, ca un domeniu cu potențiere în creștere, relativ la alte domenii de utilizare a roboților industriali /30/, /59/.

În literatură /7/, /13/, /30/, /59/, sînt raportate în prezent numeroase implementări de roboți în aplicații de sudare cu caracteristici de productivitate ridicată, majoritatea însă pentru sudură în puncte. În aceste implementări pieșele sudate sînt poziționate fix prin utilizarea unor dispozitive auxiliare de înderare.

Utilizarea senzorilor evoluți, vizuali sau specifici, de detecție a rostului de sudare, conferă robotului caracteristici adaptive, care elimină dispozitivele costisitoare de înderare crescînd semnificativ eficiența implementării. Realizarea unor roboți cu senzori evoluți și implementarea lor în mediul industrial de aplicație este o problemă intens cercetată în țară și în străinătate /50/, /59/, /60/.

În continuare sînt menționate cîteva dificultăți majore impuse de natura aplicației, care justifică progresul înregistrat în acest domeniu de utilizare a roboților industriali:

- Dispozitivul terminal al robotului purtînd capul de sudare trebuie să urmeze cu viteze prescrise în limite restrînse roc-

tul de sudare, păstrând o poziție relativă bine determinată a punctului și dreptei caracteristice;

- Spațiul critic din jurul punctului de sudare, în care acționează senzorii pentru realizarea unui control precis pe traiectoria relativă la piesele sudate, este un mediu "ostil" pentru toate tipurile de senzori;

- Determinarea pozițiilor relative a pieselor supuse sudării și a poziției și direcției relative a capului de sudare prin punctul și dreapta caracteristică este o problemă complexă, care cere prelucrări intense asupra semnalelor de senzori. Realizarea acestor prelucrări multiparametrice în timp real cu microprocesoarele actuale reclamă algoritmi complexi și este afectată de problema dificilă a vitezei de calcul.

În acest context de aplicație și problema instruirii roboților industriali adaptivi pentru sudare relevă, de esență, caracteristicii specifice.

În aplicațiile de sudare deja implementate în producție, utilizând roboți cu senzori simpli, instruirea este realizată prin descrierea analitică geometrică explicită a traiectoriilor dispozitivului terminal /13/, /25/, /30/, /54/.

Elementul principal, rezultat al programării robotului pentru urmărirea traiectoriilor cerute de aplicație, este un model geometric al pozițiilor relative a dispozitivului terminal al robotului și a pieselor supuse sudării.

Prin programele implementate constructiv și instruire condusă din panoul de instruire, în memoria unității de comandă se creează liste de coordonate și ecuații algebrice pentru traiectoriile de urmat între acestea.

Transformările de coordonate sînt utilizate extensiv în calculele pentru determinarea parametrilor de control, pentru acționarea cuplelor cinematice a robotului în momentul execuției. Deși această metodă oferă soluții pentru multe aplicații de sudare, sînt evidente câteva dezavantaje.

Forma și dimensiunile, precum și pozițiile relative ale pieselor de sudare trebuie cunoscute cu precizie, ele constituind baza de date primare ale programelor de execuție. Programarea și instruirea condusă prin panoul de instruire se întrepătrund. Operatorul uman trebuie să posede cunoștințe extinse de programare,

intrucît, complexitatea limbajelor de programare utilizate actual pentru roboți (PAL, AL, ACRONYM) se apropie de complexitatea limbajelor de programare de nivel înalt pentru programarea calculatoarelor de uz general.

În continuare se prezintă o metodă de instruire a roboților industriali de tip RENT pentru sudură, care induce robotului caracteristici de adaptabilitate prin utilizarea eficientă a informațiilor de la senzori, în același timp păstrînd naturalitatea de formulare a comenzilor de către operator în procesul de instruire.

Metoda a fost experimentată pe robotul de sudură RENT-2-S, cărui i-a fost atașată o cameră TV pe dispozitivul terminal ca senzor vizual primitiv. Imaginile obținute de la camera TV sînt prelucrate utilizînd algoritmi simpli. În procesul de instruire operatorul generează un model format din segmente orientate, pentru traiectoria punctului caracteristic pe rostul de sudare.

Instruirea se desfășoară alternativ, interactiv, pe un dispozitiv grafic de instruire și pe un panou de instruire clasic al robotului. Operatorul conduce robotul din panou astfel ca punctul caracteristic să fie în apropierea capetelor rostului de sudare, indicînd pe afișajul grafic segmente de dreaptă ca model local pentru rostul de sudare. Cu ajutorul acestui model, în execuție, robotul se adaptează la pozițiile reale ale pieselor de sudat chiar dacă acestea nu se află exact în pozițiile avute la instruire.

Avantajul acestei metode, care conferă robotului caracteristici de adaptabilitate, rezultă din naturalitatea și simplitatea instruirii, fără a cere operatorului cunoștințe extinse de programare. În procesul de instruire nu este necesar să se precizeze nici coordonate exacte de cuple cinematice a robotului și nici ecuații ale traiectoriilor geometrice de mișcare.

În același timp, această metodă permite autoinstruirea robotului după metode multipunct, pe rosturi de sudură liniare sau curbilini în plan.

Caracteristicile de adaptabilitate ale robotului RENT-2-S, instruit după această metodă, dă posibilitatea eliminării majorității dispozitivelor de indexare a pieselor de sudare. Rezultă în acest mod o creștere a eficienței valorice de utilizare și o operativitate maximă la trecerea de la un lot de piese la altul.

5.2. Instruirea grafică interactivă, aplicată la robotul de sudură RAMP-2-S

Robotul de sudare RAMP-2-S, realizat la întreprinderea "Electromotor" Timișoara, a fost adaptat pentru aplicații de sudare cu fir în mediu protector de dioxid de carbon, în cadrul colectivului interdisciplinar de roboți industriali al I.P. "Traian Vuia" din Timișoara. Caracteristicile generale ale robotului RAMP-2-S sînt prezentate în anexa A.3.

Constructiv, robotul a fost dotat cu un panou de instruire de tip clasic. Programele inițial implementate unității de comandă au fost concepute pentru instruirea de tip punct cu punct, condusă din panou.

Metoda de instruire prin conducere din panoul de instruire impune poziționarea exactă a fiecărei piese supuse sudării în limite stricte relativ la poziția ocupată în momentul instruirii. Dispozitivele de indexare necesare în această situație scad eficiența economică a aplicației și reduc operativitatea de trecere de la un tip de piese la altul. De asemenea, precizia în execuție este afectată de numărul practic limitat de puncte ce pot fi specificate de operator la instruire.

Instruirea după această metodă a robotului, pentru aplicații de sudare pe rost curbiliniu, solicită îndemnare din partea operatorului în urmărirea simultană a poziției relative a punctului și dreptei caracteristice a dispozitivului terminal al robotului.

În vederea creșterii capacităților de adaptare a robotului RAMP-2-S, care să aibă ca rezultat creșterea eficienței economice de utilizare prin eliminarea dispozitivelor de indexare a pieselor, robotul a fost suplimentat cu senzori vizuali simpli, o cameră TV și dispozitivul grafic interactiv de instruire prezentat în capitolul 4 al lucrării.

Obiectivele urmărite în această implementare experimentală au fost următoarele:

- Obținerea unor caracteristici adaptive pentru robotul RAMP-2-S, care să-i permită poziționarea adaptivă a capului de sudare relativ la piesele sudate și în cazul în care acestea sînt deplasate din poziția avută la instruire;

- Descrierea spațiului geometric al universului natural al robotului, în timpul instruirii, în termeni geometrici generali: direcții, segmente, mișcări, care constituie un limbaj natural imediat utilizabil de către operatorul uman, în comparație cu descrierea în termeni de coordonate de cuple cinematice sau geometrice;

- Extinderea gamei de aplicații a robotului, în această implementare, la aplicații de sudare pe rosturi curbilini.

În figura 5.2.1 este prezentată schematic structura de ansamblu a acestei implementări de aplicație a robotului REMT-2-S.

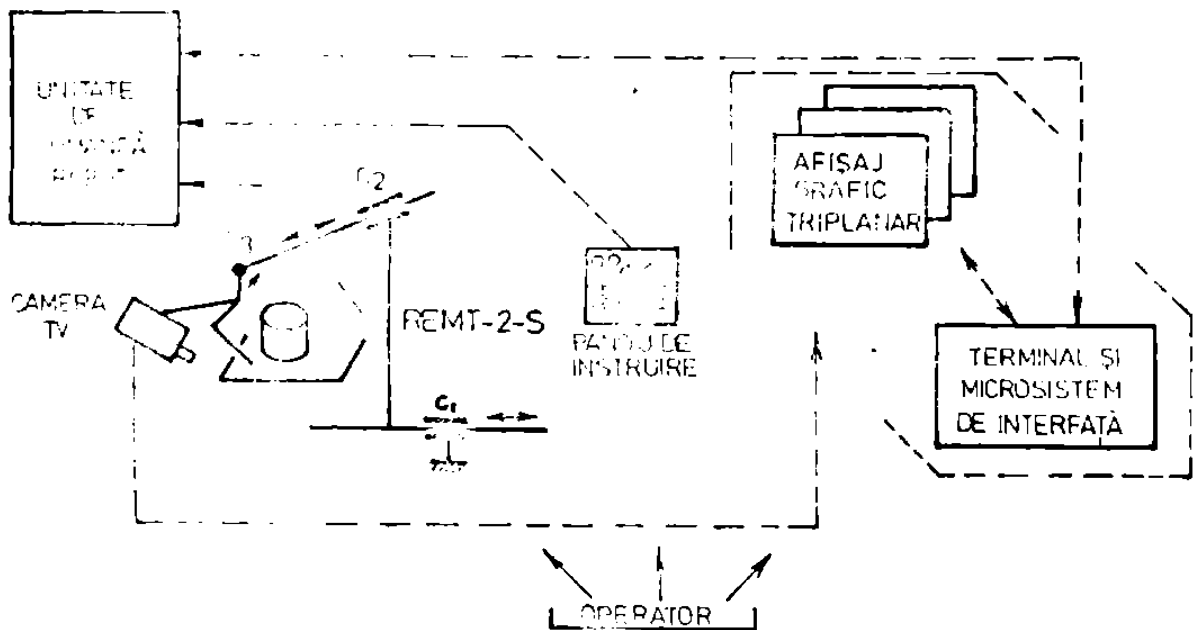


Fig.5.2.1. Reprezentarea structurii de ansamblu a implementării experimentale a robotului REMT-2-S, dotat cu senzori vizuali și dispozitiv grafic de instruire.

Natura aplicației și necesitățile experimentale au impus particularități de structură, prezentate în continuare:

- Camera TV a fost fixată după ultima cuplă din lanțul cinematic, în poziție fixă relativ la capul de sudare, întrucât apropierea de punctul caracteristic al dispozitivului terminal îmbunătățește rezoluția imaginii achiziționate;

- Clasa de aplicații considerată, sudare după traiectorii plane, reduce numărul gradelor de libertate necesare lanțului cinematic al robotului la trei. Au fost alese cele trei cuple cinematice indicate în figura 5.2.1. Ortogonalitatea lor face ca orice mișcare a punctului și dreptei caracteristice să fie unic determinată în spațiul coordonatelor de cuple cinematice;

- Specificațiile tehnologice ale procesului de sudare cer ca dreapta caracteristică a dispozitivului terminal, purtând capul de sudare, să se afle într-un plan perpendicular pe restul de sudare și egal înclinată față de suprafețele pieselor sudate. În figura 5.2.2 este indicată poziția relativă a camerei TV și a sursei de lumină față de dreapta caracteristică a dispozitivului terminal în cazul particular, dar foarte comun, în care piesele supuse sudării au suprafețe perpendiculare.

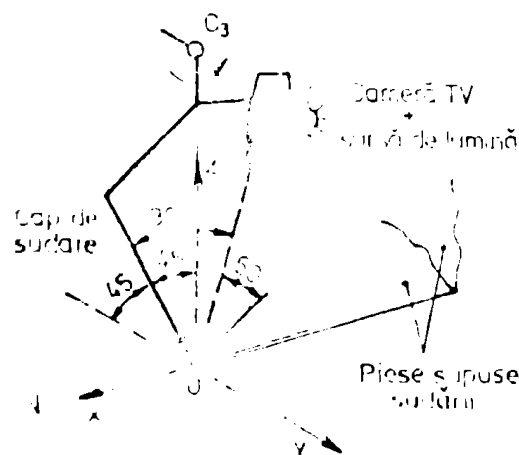


Fig.5.2.2. Poziția relativă a camerei TV și a capului de sudare, în cazul sudării a două piese cu suprafețe perpendiculare.

Rezoluția prezentată în figura, pentru poziționarea camerei TV, a fost determinată prin încercări, urmărirea pe ecranul monitorului

TV, a reprezentării interactive, ca suprafețele care definesc rostul de sudare să rezulte marcate diferit în urma detecției prin binarizare. De asemenea, în pozițiile relative încercate operatorul apreciază prin modificarea pragului de binarizare și imunitatea sistemului la zgîrieturi și pete de rugină pe piese.

În continuare sînt descrise două exemple de programare prin instruire experimentate cu robotul REMT-2-S, utilizînd camera TV și dispozitivul grafic de instruire.

5.3. Programarea prin instruire a robotului REMT-2-S pentru sudarea adaptivă pe rost liniar

Rezultatele experimentale preliminare cu robotul REMT-2-S, în aplicații de sudare pe rost liniar, pentru un lot de piese furnizate de beneficiarul contractului de implementare a robotului, au indicat dificultăți majore. Datorită diferențelor de dimensiune a pieselor au rezultat abateri ale poziției rostului de sudare, față de poziția cerută la instruirea efectuată prin conducerea robotului din panoul de instruire și memorarea coordonatelor de cuple cinematice pe traiectorie.

Utilizarea unor senzori vizuali pentru detectarea poziției actuale a rostului de sudare și alinierea adaptivă la aceste poziții, a rezultat cu necesitate.

Implementarea camerei TV și instruirea interactivă grafică pentru alinierea adaptivă în capetele rostului liniar de sudare a înlăturat dificultățile datorate toleranțelor de dimensiune a pieselor sudate și în același timp au putut fi eliminate dispozitivele costisitoare de indexare, ridicînd eficiența de implementare a robotului.

În continuare este descrisă metoda de programare prin instruire grafică interactivă a robotului REMT-2-S, dorit cu camera TV, în legătură cu figura 5.2.3.

Succesiunea de comenzi pe care le efectuează operatorul pentru instruirea în vedere a odării pieselor P_1 și P_2 indicate în figură, după rostul liniar AB, sînt:

a) Trasarea pe ecranul interactiv și memorarea prin coordonate locale de ecran a segmentelor $A'A''$ și $B'B''$, ca modele de rost de sudură pentru cele două capete.

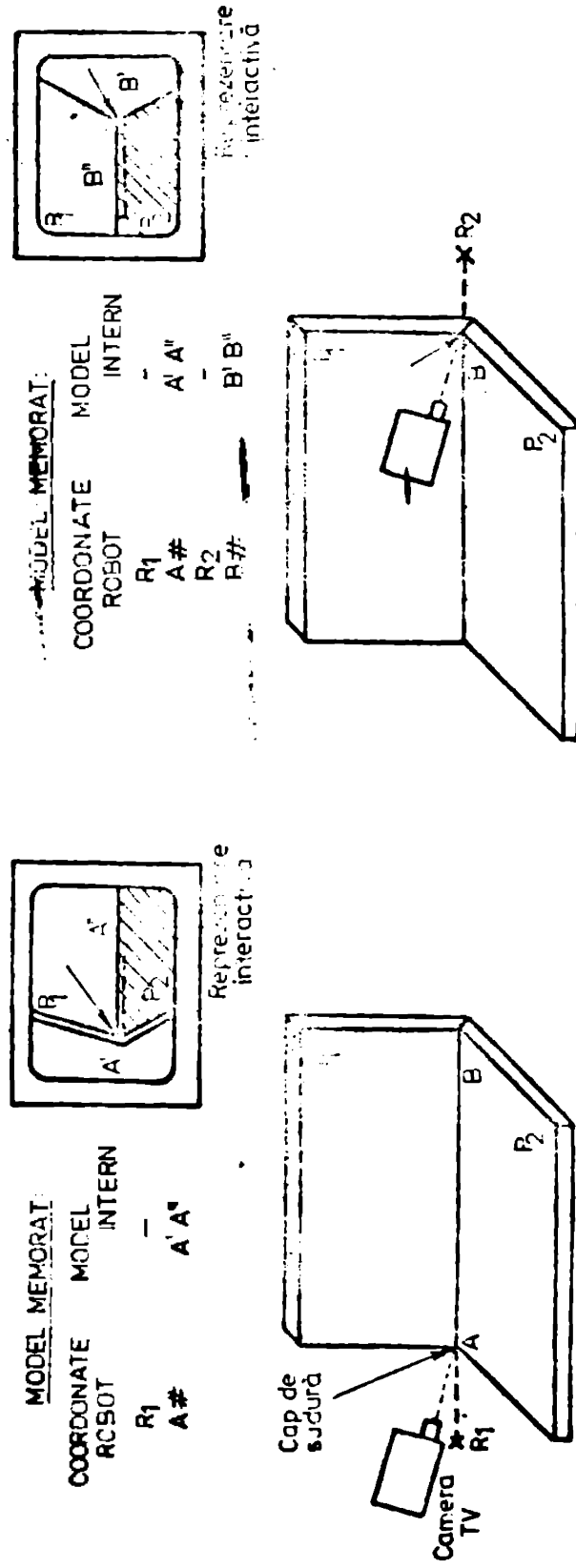


Fig. 2.3.2. Instruirea grafică interactivă pentru elidarea adaptivă pe un șir de obiecte liniare.

b) Memorarea coordonatelor punctelor R_1 , A , R_2 și B în termenii traductoarelor incrementale de poziție pe axe, prin comenzi de la panoul de instruire.

Pozițiile R_1 și R_2 ale punctului caracteristic al dispozitivului terminal, reprezentând referința locală de aliniere, se află aproximativ pe direcția rostului linear de sudură AB , la o distanță carecure fără semnificație.

În figura 5.3.1.a este indicată poziția dispozitivului terminal al robotului purtând capul de sudare și camera CV , obținută prin selecționarea manuală din panou a motoarelor cuplelor cinematice.

Punctul de capăt A este marcat și marcat (#) pentru aliniere. Imaginea pe afișajul grafic interactiv în această poziție este indicată în partea stângă (sus) a figurii 5.3.1.e. Operatorul observă pe monitor poziția reală a pieselor din planul (A) al reprezentării interactive a dispozitivului de instruire și suprapune cu aceasta, imaginea rezultat al prelucrării prin binarizare afișată în planul (B). Intrucât în situație prezentată, suprafața orizontală a piesei P_2 este mai puternic iluminată, în urma binarizării se obține zona hașurată din figură, marginea ei constituind poziția actuală a rostului.

În figura 5.3.1.a (stînga sus) este indicat modelul marcat ca armare a instruirii în capătul A al rostului de sudură AB .

Operațiile se repetă în mod similar în capătul B al segmentului AB , conforma reprezentării din figura 5.3.1.b. Se memorează poziția de referință locală R_2 , după care se memorează și se marchează (#) pentru aliniere adaptivă poziția B a punctului caracteristic. Pe afișajul grafic se tracează $B'B''$ ca model al rostului de sudură în acest punct.

În cazul în care procesul tehnologic indică mai multe segmente de sudură pentru același piese, operațiile descrise anterior se efectuează pentru fiecare segment.

Programele utilizate pentru faza de programare prin instruire descrisă sînt: programele de memorare a coordonatelor de cuple cinematice prin urmărirea comenzilor panoului de instruire, implementate constructiv în unitatea de comandă a robotului SMT-2-1 și programul "GENERATOR MODEL" descris în paragraful 4.2. (a se vedea și anexa A.2).

In regia de execuție, execuția efectivă a sudării este precedată de alinierea adaptivă la poziția actuală a rostului de sudare, în fiecare poziție marcată pentru aliniere din modelul memorat în timpul instruirii.

Evaluarea parametrilor stărilor curente a rostului de sudare, prin compararea cu segmentul model memorat, este realizată cu programul "EVALUARE PARAMETRI DE STARE TUBENTA". Algoritmul de aliniere este convergent dacă, deplasarea pieselor supuse sudării este mică față de poziția avută la instruire, conform următoarelor precizări:

- Deplasările longitudinale și transversale ale segmentului model față de porțiunea de rost de sudare pe care o modelează, sînt cel mult egale cu jumătate din lungimea segmentului;

- Unghiul dintre segmentul model și poziția actuală a rostului este cel mult 45° .

Aceste restricții sînt consecința condiției de determinare unică în termenii coordonatelor de cuple cinematice a parametrilor mișcării geometrice de aliniere, și rezultă din faptul că pe imaginea achiziționată cu camera TV nu există posibilitatea determinării unei orientări a rostului de sudare, oas în care condiția deplasărilor mici nu ar mai fi necesară.

În figura 5.3.2 este exemplificat un caz tipic de poziție relativă a segmentului model memorat la instruire și a imaginii piesei (X) care a generat segmentul model, indicată prin zona hășurată din figură.

În figură sînt reprezentate, suprapuse prin transparență, cele două pagini de memorie, cuprîndînd segmentul NP ca model memorat al rostului de sudare și imaginea achiziționată de la camera TV,

Poziția relativă a rostului de sudare actual și a segmentului model indicînd poziția avută de rostul de sudare la instruire, este determinată prin calculul axiilor urse de deplasare pentru suprapunere a segmentului model și a marginii piesei din imaginea achiziționată de la camera TV. Cele două plane de reprezentare sînt explorate simultan într-o suprafață centrală pe segmentul model, indicată în figură prin punctele limită k_1 k_2 k_3 k_4 .

Explorarea zonelor de imagine, calculul arilor de mișcare, precum și determinarea mărinii translației longitudinale relativ la segmentul model sînt efectuate în termenii coordonatelor locale ale reprezentării, care iau valori între 0 și 255, după cum este indicat în figura.

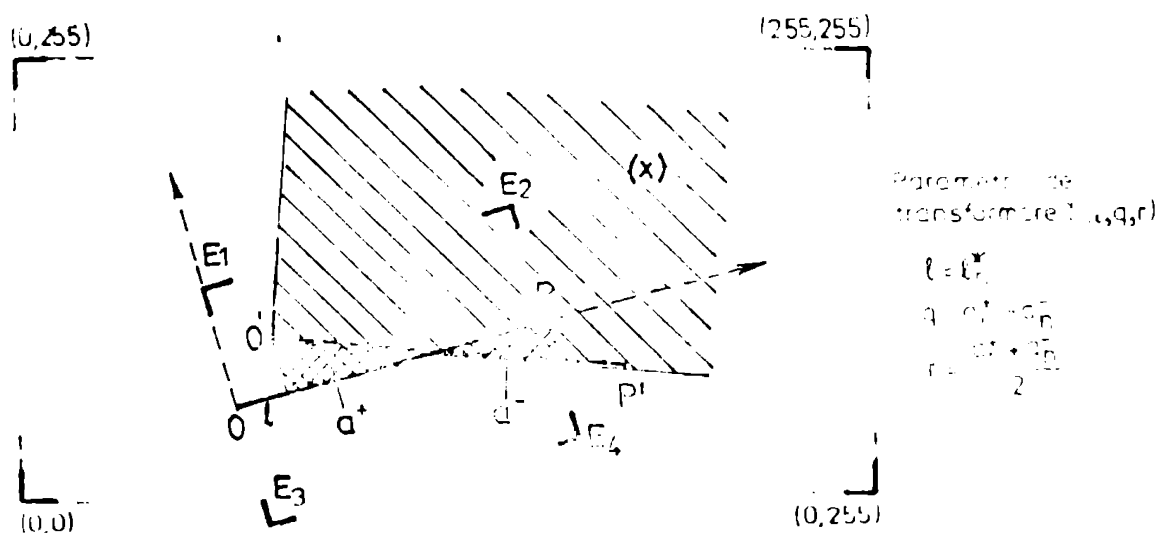


Fig.5.3.2. Evaluarea parametrilor de mișcare a segmentului model măsurat, relativ la imaginea binarizată a pieselor supuse suferii.

Explorarea constă în numărarea elementelor de imagine în direcția perpendiculară pe segment, în fiecare punct al său, pînă cînd se detectează o schimbare de valoare binară a unui element de pe direcția explorată.

Pentru eliminarea dependenței parametrilor calculați în acest mod de lungimea segmentului, arbitrar aleasă de operator la înstrăinare, valorile numerice calculate în explorare sînt normalizate prin divizarea cu valoarea lungimii segmentului model.

Ca ajutorul programului "DISTRIBUȚIA DE MIȘCĂRI" prezentat în anexa A.2, valorile parametrilor calculați prin explorarea coincidenței segmentului model cu imaginea achiziționată a poziției actuale a rostului de sudare, sînt utilizate pentru determinarea comenzilor de aliniere pentru efectori, conform următoarelor relații:

$$\begin{aligned} l &= \beta l_n && - \text{translație longitudinală} \\ q &= a_n^+ - a_n^- && - \text{translație transversală} \\ r &= \frac{a_n^+ + a_n^-}{2} && - \text{rotație față de mijlocul segmentului} \\ &&& \text{model} \end{aligned}$$

Indicele n a fost introdus în notație pentru a indica operația de normalizare a parametrului la lungimea segmentului model.

Relațiile au fost deduse evind în vedere ipotezele inițiale de deplasare relativ redusă a segmentului model față de restul de sudare, caz în care cele două translații ortogonale și rotația segmentului model poate fi considerate ca independente pentru calculul parametrilor specifici care apar în ecuațiile ce definesc transformarea. Relațiile utilizate prezintă valori aproximative din acest punct de vedere, dar au avantajul că sînt ușor de implementat prin program.

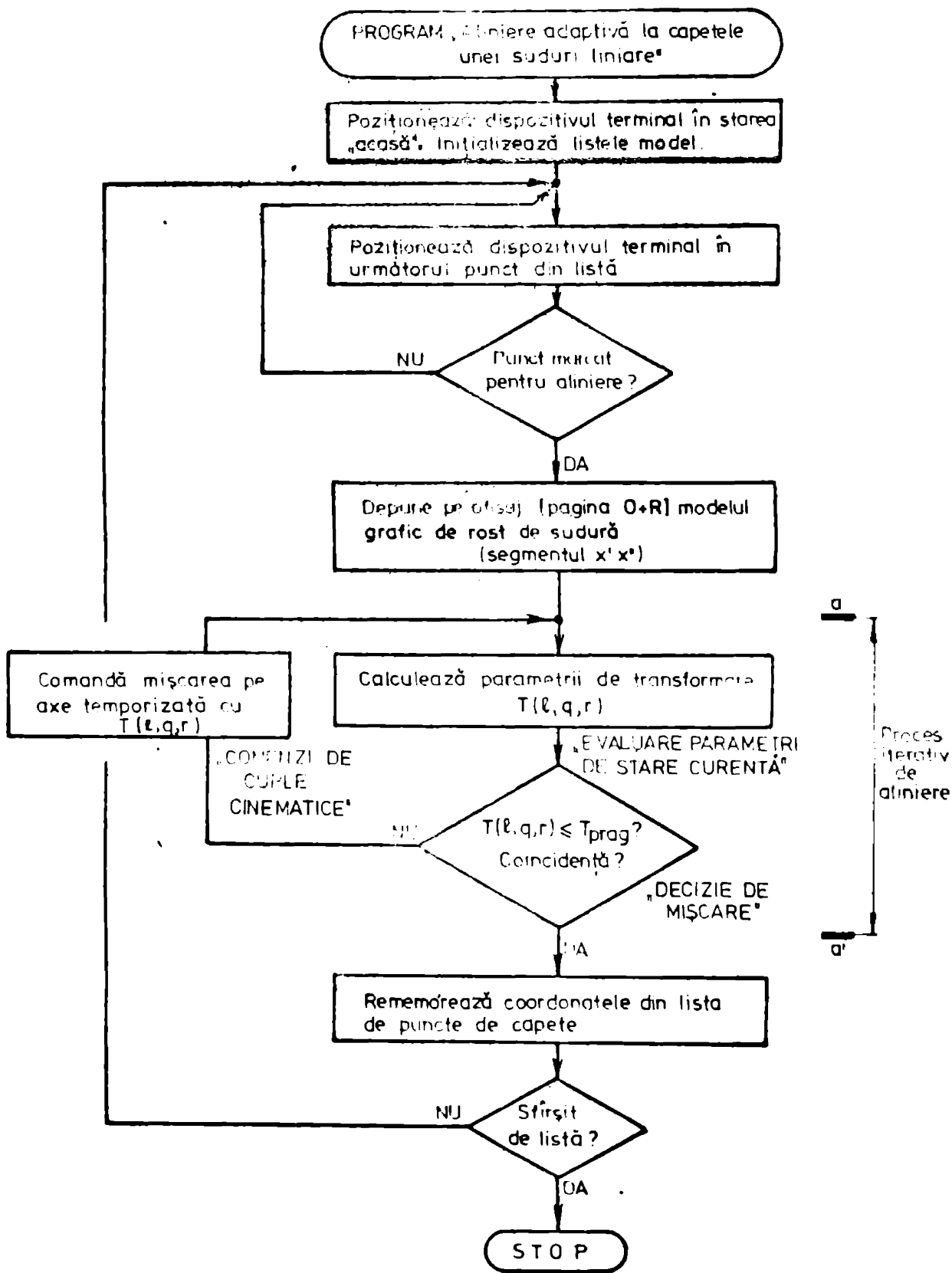
O motivație mai profundă a acestor relații este că valorile parametrilor de transformare sînt calculate exclusiv din datele care specifică generic segmentul model, adică direcțiile și poziția relativă la imaginea piesei. Nu se fac nici calcule de determinare a orientării și nici referiri la aspecte globale ale poziției segmentului relativ la alte segmente.

Ordinograma programului complet de aliniere este indicată în figură 5.3.3. Programul a fost conceput pentru alinierea adaptivă pentru porțiuni multiple de sudare, memorate la instruire într-o listă, care surprinde pozițiile de referință locală în termenii coordonatelor de cuple cinematice și segmentele orientate model pentru fiecare porțiune de rost din această listă, în termenii coordonatelor de reprezentare interactivă.

Procesul de aliniere adaptivă locală se desfășoară între punctele aa' ale diagramei, așa cum este indicat în figură.

Prin $T(l, q, r)$ s-a notat vectorul de valori a parametrilor de evaluare a stării curente, reprezentînd parametrii transformărilor geometrice de reprezentare interactivă, două translații și o rotație, pentru realizarea coincidenței segmentului model cu poziția actuală a rostului de sudare.

Valorile parametrilor de transformare calculați pentru reprezentarea interactivă, în cazul implementării descrise a robotului SMT-2-1, sînt direct valabile și în termenii coordonatelor



Alinierea adaptivă la capetele unei suduri liniare este realizată prin intermediul unui dispozitiv terminal care se poate poziționa în starea „acasă” și inițializează listele model.

le cuple cinematice a robotului, adică sistemul efector. Acest fapt este rezultatul fixării camerei TV pe dispozitivul terminal și a limitării domeniului de aplicații la sudare în plan.

Pentru sudare în plan orizontal, transformarea parametrilor de evaluare a stării curente în termenii mișcărilor elementare a celor trei cuple cinematice este univoc determinată. În consecință, algoritmi de mișcare pot fi exprimați în limbajul formal regulat al sistemului efector descris în paragraful 4.1 al lucrării.

Condiția de independență de context a limbajelor de subsisteme, impusă de propoziția 1.3.2.2, este în consecință satisfăcută și drept urmare nivelul de instruire prin segmente model pentru restul de sudare aparține domeniului de adaptabilitate al robotului.

Funcția de descriere a algoritmilor de acțiune f_{2a} este funcția identitate, și a fost inclusă în programul "COMENZII DE CUPLE CINEMATICE". Pentru fiecare componentă a vectorului $P(1, a, r)$ de evaluare a stării curente se execută o mișcare temporizată pe axa corespunzătoare, proporțională în timp cu valoarea parametrului.

Metoda de instruire și aliniere adaptivă descrisă prin modelarea restului de sudare cu segmente poate fi utilizată și în alte cazuri mai complexe de rest de sudare, dacă condiția independenței de context a limbajelor naturale asociate subsistemelor conform propoziției 1.3.2.2, este satisfăcută.

Pentru aplicația avută în vedere, domeniul de adaptabilitate al robotului RHT-2-a, programat prin instruirea grafică interactivă utilizând segmente de dreptă ca model pentru restul de sudare, cuprinde toate pozițiile pieselor cupuse sudării care păstrează restul de sudare în zona de explorare din jurul segmentului model.

Prin analiza funcționării sistemului în regim de aliniere adaptivă se poate determina eroarea maximă de poziționare pe rest. Precizia de aliniere a punctului caracteristic al dispozitivului terminal la poziția actuală a restului de sudare este dependentă de rezoluția sistemului de senzori, de valorile parametrilor vectorului de deplasare, prag, cu care se apreciază coincidența segmentului model cu imaginea achiziționată de la senzori, precum și de rezoluția traductoarelor de poziție a structurii mecanice.

În programul de aliniere adaptivă descris, coincidența segmentului model cu marginea imaginii piesei de sudat este stabilită

la (k) elemente de imagine prin vectorul T_{prag} , pentru a elimina geometul de schiție și neuniformitățile de iluminare a piesei.

În aceste condiții, eroarea maximă liniară de poziționare a punctului caracteristic pe rostul de sudare poate fi apreciată cu următoarea formulă:

$$E_{\text{max}} = \max \{ \pm k \cdot r, \pm R \}$$

r - rezoluția sistemului de senzori în (mm/element de imagine);

k - factor de prag ajustabil prin program în (număr de elemente de imagine);

R - rezoluția traductoarelor de poziție a robotului în (mm).

Pentru aplicația considerată, unde rezoluția de imagine este $r=0,5 - 1$ mm/element de imagine pentru distanțe de 200 - 500 mm a camerei TV față de piesele supuse sudării, $k=2$ elemente de imagine, iar $R=0,25$ mm (a se vedea Anexa A.3), eroarea maximă E_{max} calculată, rezultă de $E_{\text{max}} = \pm(1 - 2$ mm). Aceste calcule de eroare de poziționare concordă cu rezultatele experimentale prezentate în continuare.

În tabelele T.5.3.1 și T.5.3.2 sînt indicate cîteva date experimentale care indică limitele de adaptabilitate a robotului în funcție de condițiile de precizie de aliniere și eficiența în timp a procesului.

TABELUL T.5.3.1. Dimensiunea domeniului de adaptabilitate în funcție de precizia de aliniere.

Distanță cameră-punct vizat (mm)	250	300	400	500
Rezoluție de imagine (mm/pixel)	0,5	0,5	0,7	0,8
Limită de adaptabilitate (mm)	± 12	± 15	± 22	± 25
Precizia medie de aliniere (mm)	$< \pm 1$	± 1	± 2	$\pm 2,5$

TABELUL 7.5.3.2. Timpul de aliniere pentru implementarea experimentală în funcție de deplasarea pieselor supuse sudării față de poziția de la instruire.

Distanța inițială $x - x'$ (mm)	< 3	5	10	15
Nr. de mișcări până la coincidență	2	3	4	6
Timp de aliniere (s)	4	7	9	13

Experimentările efectuate cu implementarea descrisă a robotului RRM-2-6, utilizând metode de programare prin instruire descrie indică următoarele concluzii:

- Dispozitivul grafic de instruire prezentat, cu reprezentare interactivă triplanară, având rezoluția de modelare de 256x256 de elemente de imagine determină o precizie de aliniere de aproximativ 1 - 2 mm, pentru poziții deplasate ale pieselor supuse sudării în cadrul domeniului de adaptabilitate cu dimensiunile de ordinul 30 - 50 mm;

- Timpul de aliniere maxim pentru un punct de capăt nu depășește 10 - 15 sec.;

- Precizia de aliniere și domeniul de adaptabilitate pot fi mărite de 2 - 4 ori prin creșterea rezoluției dispozitivului de instruire la valori comercial disponibile în țară și în străinătate /2/, /73/, /74/;

- Timpul de aliniere pe rest poate fi substanțial îmbunătățit prin utilizarea unor microprocesoare mai performante decât sistemele de coduri utilizate, fiind posibilă de asemenea îmbunătățiri în ceea ce privește lungimea și structura programelor utilizate în variante experimentale. Se poate totuși aprecia că timpul de aliniere nu este un parametru semnificativ de eficiență, întrucât este relativ mic în raport cu durata efectivă de sudare, uzual de ordinul minutelor.

În general se poate aprecia din rezultatele experimentale descrise că, instruirea grafică interactivă prezentată constituie o soluție de creștere a eficienței economice de aplicație prin eliminarea dispozitivelor de indexare a pieselor sudate. Domeniul de adaptabilitate cu raza de 30 - 50 mm pentru aplicația studiată acoperă variațiile de dimensiune a pieselor într-un lot, poziționarea cu această precizie putând fi asigurată fără dispozitive de indexare speciale pentru fiecare tip de piese supuse sudării. Precizia de aliniere posibilă în această implementare, de 1 - 2,5 mm este satisfăcătoare pentru această clasă de aplicații.

De asemenea, cu dispozitivul grafic interactiv, și metoda de instruire modelată descrisă, operatorul folosește un limbaj natural, fără a avea nevoie de cunoștințe de programare speciale și fără a interveni cu precizări cantitative în termeni de coordonate geometrice sau de cuple cinematice.

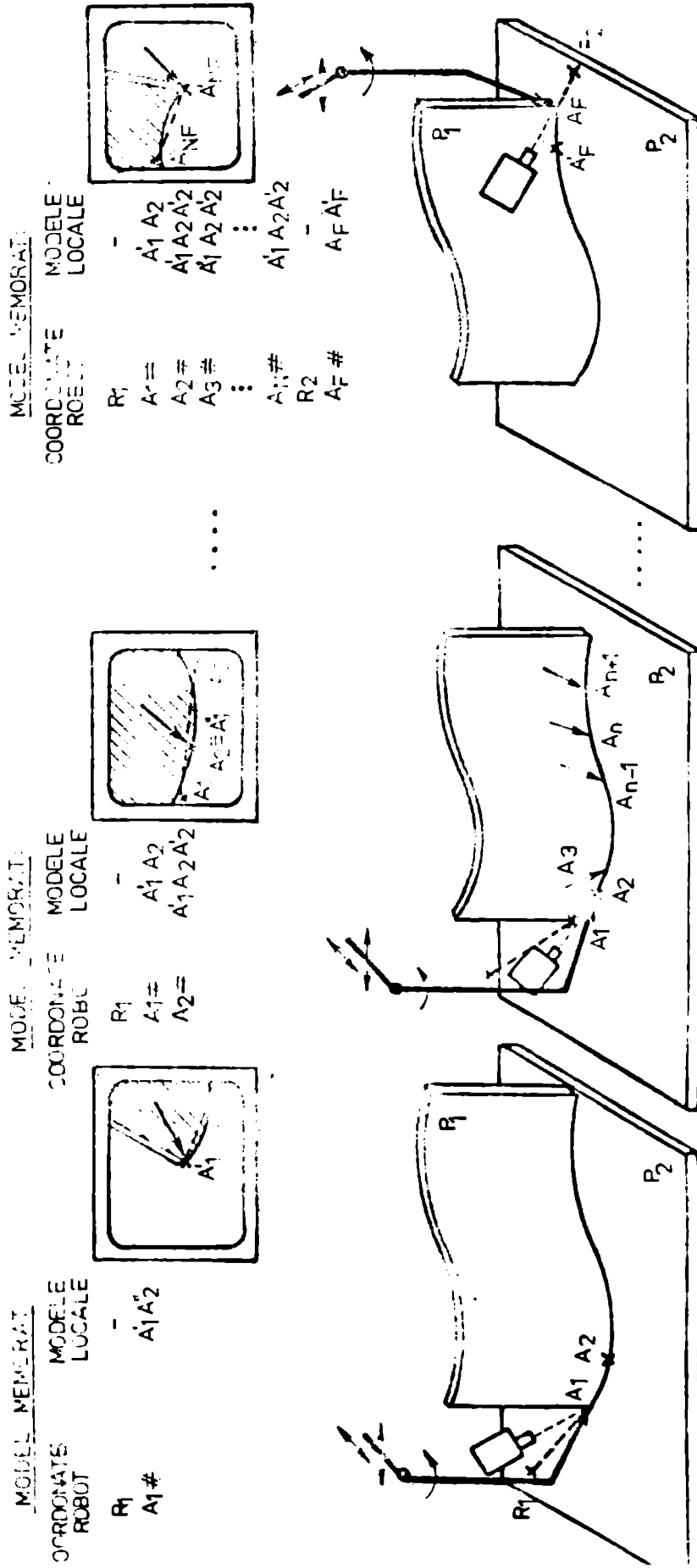
5.4. Autoinstruirea robotului RMT-2-S pentru sudarea pe rost curbiliniu

În clasa de aplicații de sudare în plan considerată, instruirea pentru sudarea unor piese după un rost de sudare curbiliniu, folosind metode de conducere din panou a punctului caracteristic al dispozitivului terminal și memorarea coordonatelor de traiectorie, este confuzionată cu dificultăți suplimentare față de sudarea după rost liniar.

Operatorului i se cere multă concentrare în acțiunea de conducere uniformă pe rostul de sudare a punctului caracteristic, orientând corespunzător și dreapta caracteristică, prin acționarea motoarelor cuplelor cinematice pe axe.

Pentru acest tip de instruire se utilizează împreună cu panoul de control o metodă de tip "joystick" tridimensional [76], [77]. Problemele de poziționare exactă a pieselor de sudat și a toleranțelor în limite stricte a dimensiunilor rămân însă, influențând negativ eficiența implementării.

Capabilitatea de aliniere adaptivă pe rost a robotului RMT-2-S, dotat cu camera IV, permite urmărirea automată a rostului de sudare, dacă el nu are frânturi sau întreruperi și în con-



a b c
Fig.5-A.1. Autoinstruirea (mafi) interactiva pe reea de calculi cariblidu,
dupa metoda multipasa.

societă autoinstruirea prin memorarea punctelor intermediare.

Conform acestei metode descrise în continuare, robotul este instruit pentru aliniere în capetele restului curbiliniu de sudare prin modelarea acestor porțiuni cu segmente de dreaptă.

În execuție, înainte de sudării efective unitatea de comandă sub controlul programului efectuează iterativ un proces de autoinstruire descoperind și memorând coordonatele punctelor intermediare pe restul de sudare.

Autoinstruirea pe un rest de sudură curbiliniu a fost experimentată cu robotul RUM-2-1 și este prezentată în continuare în legătură cu figura 5.4.1.

Robotul este instruit asupra alinierii adaptive pe punctul de capăt notat prin A_1 , conform metodei descrise la instruirea pe rest de sudură liniar. Porțiunea de rest curbiliniu în jurul punctului memorat este aproxiată cu un segment de dreaptă. Operatorul începe programarea prin instruire, indicând poziția de referință locală A_1 pentru capătul A_1 , apoi punctul de început A_2 , iar segmentul de curbă A_1A_2 este modelat pe afișajul grafic interactiv cu segmentul A_1A_2 utilizând programul "GENERARE MODEL" (a se vedea și anexa A.2), după cum este indicat în figura 5.4.1.a.

Punctul caracteristic al dispozitivului terminal este apoi condus în primul punct intermediar A_2 , care definește pasul de aproximare prin puncte a restului.

În continuare, sub controlul unității de comandă robotul se autoinstruiește determinând punctele intermediare.

Utilizând capabilitatea de adaptare a robotului cu algoritmul de aliniere descris în paragraful 5.3, unitatea de comandă controlează alinierea în punctul A_2 utilizând ca model local al segmentului de rest curbiliniu în jurul punctului A_2 , un segment de dreaptă A_1A_2 obținut prin dublarea segmentului inițial față de punctul curent A_2 .

Determinarea poziției actuale a restului de sudare, în punctele intermediare începând cu A_2 , este realizată cu programul "EVALUARE PARAMETRI DE DEPLASARE CURENTA", prin explorarea imaginii achiziționate de la senzori în jurul segmentului model relativ la segmentul obținut prin dublarea segmentului model de capăt.

Pentru calculul parametrilor de deplasare, reprezentați de vectorul notat cu $P(l, q, r)$, se utilizează forme generalizată a

formulelor pentru cazul sudării pe rest liniaar:

$$l = \sum_{A'_{n-1} A'_n} a_1 | A_n$$

$$q = \sum_{A'_{n-1} A'_n} a_1$$

$$r = \sum_{A'_{n-1} A'_n} a_1 - \sum_{A_n A'_n} a_1$$

In formulele de mai sus prin (Σ) s-a notat suma algebrică a arilor formate de segmentul model cu imaginea restului de sudare, normalize prin divizarea cu lungimea de segment pe care se sprijină.

Justificarea formulelor de calcul de mai sus este prezentată în continuare în legătură cu figura 5.4.2.

Avind în vedere condițiile impuse inițial, de deviația mică a segmentului model față de poziția actuală a restului de sudare, se poate considera cu bună aproximație că alinierea de bază, două translații și rotație sînt independente, re-

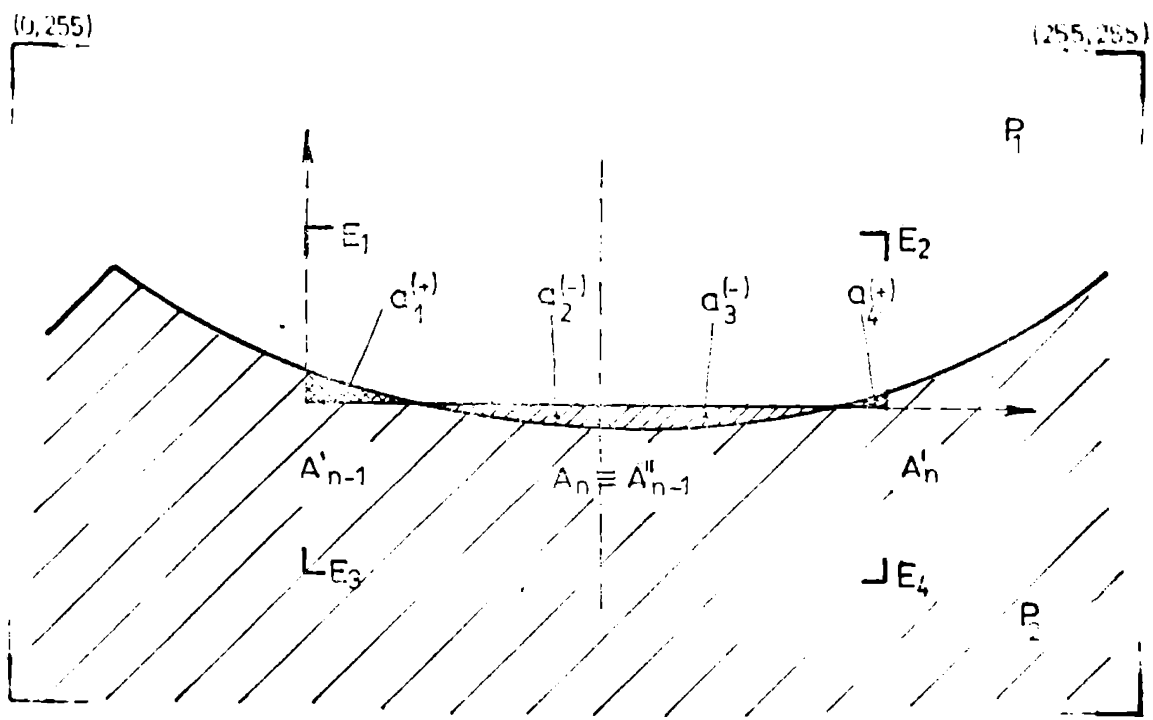


Fig.5.4.2. Elementele de arie de imagine utilizate în calculul parametrilor de aliniere pe rest de sudare curbiliniu.

lativ la calculul valorilor parametrilor asociați.

Parametrii de mișcare pe axă sînt calculați ca valori medii, pentru întregul segment model, la distanțelor corespunzătoare elementelor de imagine achiziționate față de segmentul model.

Parametrul de translație longitudinală (l) este degenerat în sensul că în calcul nu se iau în considerare arii de imagine, ci proiecții ale lor pe segmentul model, adică număr de elemente de imagine.

Evaluarea, prin proiecție pe segmentul model față de punctul de centru A_n , a fost notată în formula prin (l_{A_n}).

În cazul particular cînd punctul nu se află într-un capăt de rost de sudare, translația longitudinală are valoare nulă.

Pentru determinarea unui nou punct de aproximare a rostului, așa cum este indicat în ordinoگرام programului din figura 5.4.4, se efectuează, sub controlul unității de comandă, un pas egal în lungime și direcție cu segmentul de dreapta determinat de ultimele două puncte intermediare, anterior determinate pe rostul de sudare.

Intrucît există o corespundență strictă între pozițiile punctului și dreptei caracteristice și coordonatele de imagine, în planul model al reprezentării interactive pășirea rezultă aproximativ după direcția segmentului model, întrucît el a fost aliniat adaptiv la poziția actuală a rostului.

În figura 5.4.5 este prezentată schematic succesiunea de mișcări de pășire și aliniere adaptivă după segmentul model pentru forme concrete de curbură a rostului de sudare.

Procesul de pășire cu predicție liniară și aliniere adaptivă se repetă pînă cînd o parte a segmentului model iese în afara piesei, completînd astfel lista punctelor de aproximare a rostului de sudare. În punctul final (A_p) al rostului instruirea este din nou preluată de operator care indică punctul de referință (B_p) și segmentul model ($A_p A_p'$) pentru aliniere de capăt.

În rețin de execuție, înainte a sudării efective, sub controlul programului unitatea de comandă verifică poziția punctelor de capăt ale rostului de sudare. În cazul în care acestea corespund, se poate trece la efectuarea sudării, întrucît în această situație și punctele intermediare sînt corect memorate. În cazul în care acestea nu corespund cu poziția actuală a rostului de sudare,

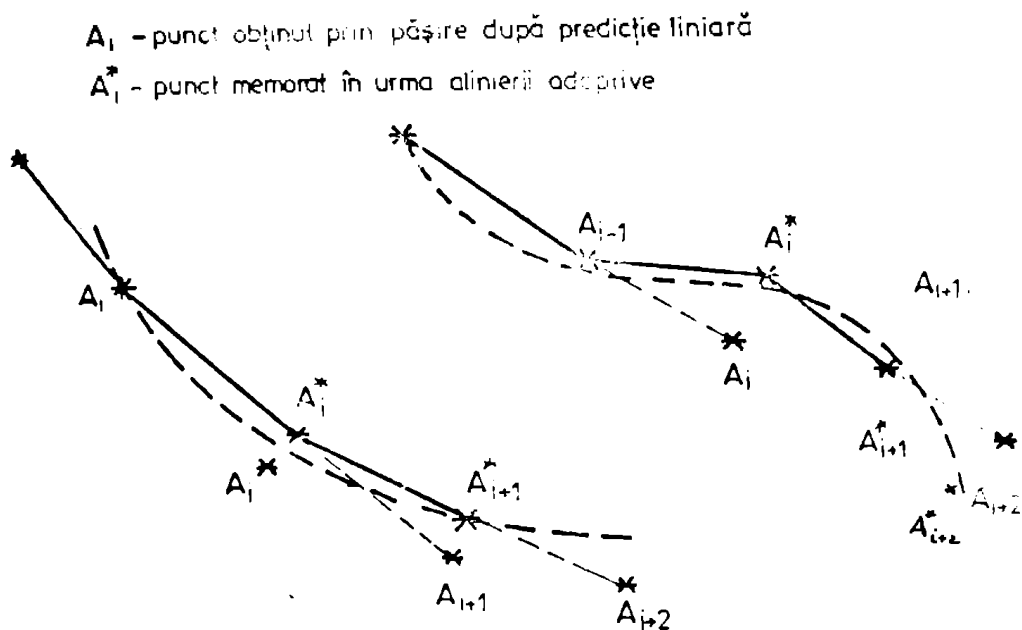


Fig. 5.4.3. Succesiunea mișcărilor de aliniere și pășire în autoinstruirea pe roată de sudare curbilinie.

se execută din nou programul de aliniere la capete și autoinstruirea pe traiectorie pentru descoperirea poziției punctelor intermediare.

Pentru determinarea preciziei de poziționare pe roată a punctului caracteristic, se observă că la erorile datorate metodei și rezoluției sistemului de senzori trebuie adăugate și erorile datorate aproximării restului curbilinie prin segmente de dreaptă. Eroarea de aproximare cu segmente de dreaptă este discutată în continuare în legătură cu figura 5.4.4.

Considerând că porțiunea de roată între două puncte intermediare, este caracterizată de raza de curbura (r), din triunghiul OAB rezultă valoarea maximă a abaterii (d) a segmentului coardă de lungime (l), reprezentând traiectoria reală în execuție, față de roată:

$$d = \frac{l^2}{4r}$$

În consecință, eroarea maximă a traiectoriei punctului caracteristic față de roată în execuție, poate fi apreciată cu formula (a se vedea și paragraful 4.3) :

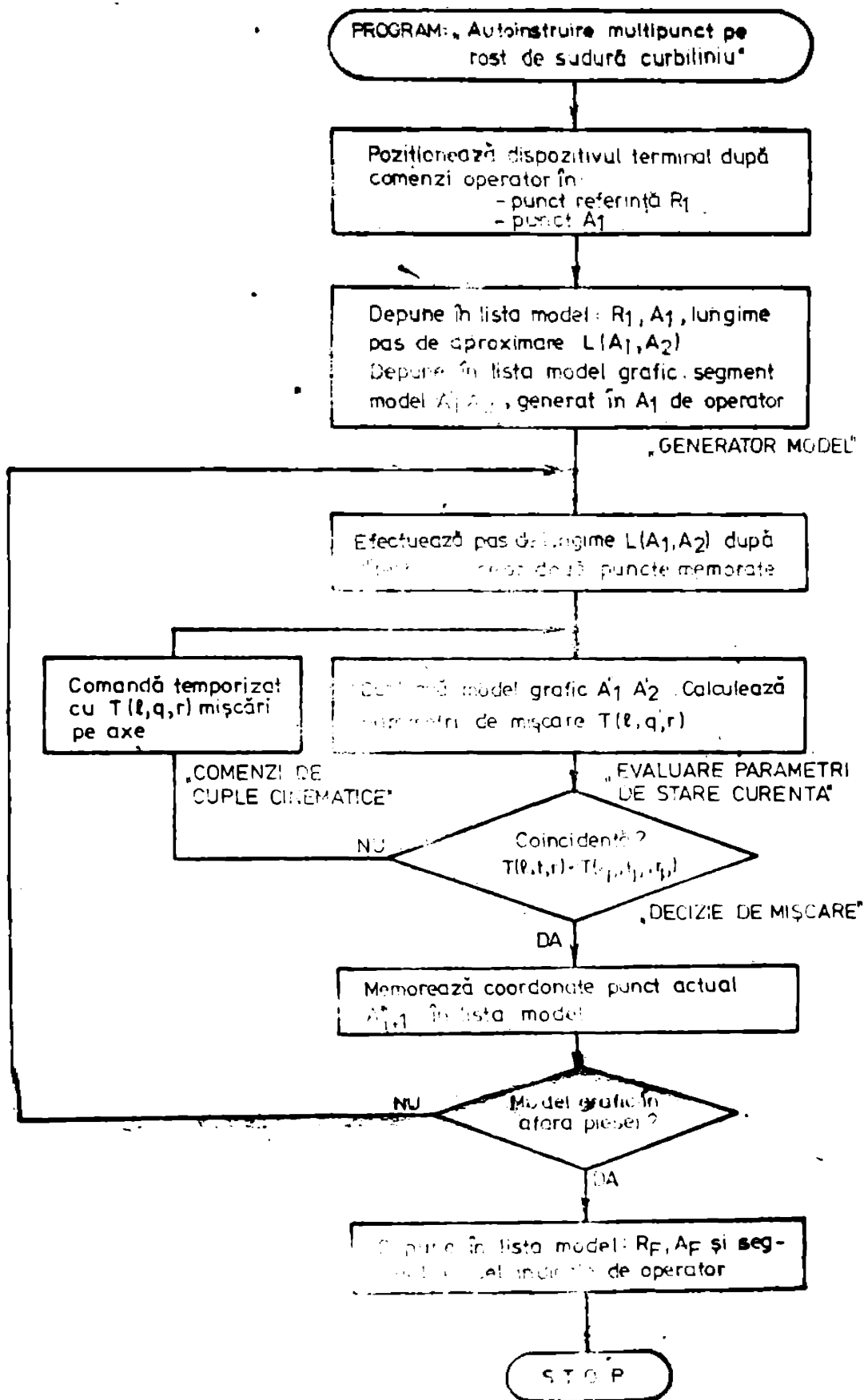


Fig.5-4.4. Ordinea programului de alegere adaptivă și autoinstruire pe rost de sudură curbiliniu.

$$\sigma_{\text{max}} = \max \left\{ \frac{l^2}{4r}, k \cdot R, E \right\}$$

unde: r - este rezoluția sistemului de senzori în (mm/element de imagine);

R - rezoluția traducerilor de poziție a structurii mecanice a robotului.

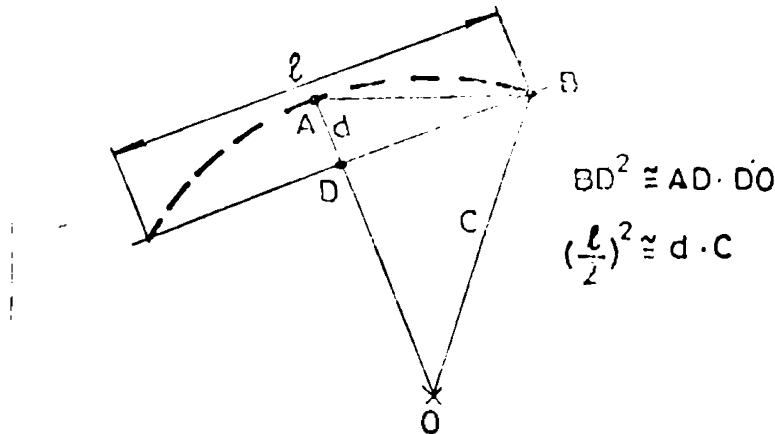


Fig. 5.4.6. Determinarea erorii de poziționare introdusă de aproximarea rostului de sudare curbiliniu prin segmente.

Caracterul interactiv al programării prin instruire permite operatorului ajustarea segmentului model de capăt, a cărui lungime specifică este pasul de aproximare a rostului cu segmente, astfel încât eroarea de curbură să fie de ordinul de mărime al rezoluției de senzori vizuali, cunoscută.

Aceasta este precizia maximă posibilă în implementarea avută în vedere. În acest caz este valabila relația:

$$\frac{l^2}{4r} = k \cdot r$$

Pe aceste relații, prin calcule simple, operatorul poate aprecia lungimea în mm a pasului de aproximare și în consecință numărul de puncte intermediare necesare pentru execuție, în funcție de raza de curbură a porțiunii de rost considerate.

În implementarea experimentală pentru robotul RBT-2-0, având în vedere că rezoluția medie a sistemului de senzori a fost $r=1$ mm/element de imagine, pentru un rost de sudare cu raza de curbură

21,0 mm, rezultă că lungimea maximă a pasului de aproximare este 1-35 mm, ceea ce corespunde la N=13 puncte intermediare pe un segment.

În continuare sînt prezentate câteva rezultate și concluzii ale experimentărilor cu robotul R3MT-2-2 în aplicații de sudare pe rost curbiliniu, în legătură cu tabelul 5.5.4a.

Pentru două tipuri de piese supuse sudării, cu raze de curbură a rostului de sudare de 150 mm, respectiv 300 mm, prin urmărirea imaginilor de pe afișajul grafic interactiv, lungimea pasului de aproximare a fost apreciată de operator la 30 mm și respectiv 50 mm, ceea ce concordanță cu calculele de eroare de poziționare prezintă mai sus.

Tabel 5.4a. Rezultate experimentele asupra preciziei de aliniere adaptivă prin autoinstruire pe rost de sudură curbiliniu.

	Tip piese 1	Tip piese 2
Raza minimă de curbură a rostului (mm)	150	300
Distanța medie între punctele intermediare (mm)	30	50
Durată de aliniere pe punct (s)	9	11
Abateră medie a punctului memorat de ... (mm)	±1	<±1

Pentru experimentele de autoinstruire, camera TV avînd distanță focală 25 cm, a fost poziționată față de rostul de sudură la aproximativ 300 mm, numărul mediu de iterații pentru determinarea unui punct intermediar pe rost a fost de 4 - 6 alinieri succesive.

Funcționarea corectă a robotului de sudare R3MT-2-2 în regiile de autoinstruire pe rost curbiliniu a demonstrat capacitățile de adaptare ale robotului, în urma dotării cu camera TV, și cu dispozitivul de instruire grafică interactivă.

Instruirea nu sîntă făcîndu-se de către operator, pe o traiectorie curbilinie, pentru tipurile de piese cu care s-a

experimentat autoinstruirea, ar fi cerut multă coordonare și o atenție vizuală mărită pentru aprecierea orientării corecte a capului de sudare și a constantei pasului de aproximare, influențând negativ asupra eficienței de implementare a robotului.

Possibilitatea autoinstruirii adaptive pentru diferite tipuri de rost cu inversări de curburi, roze diferite în segmente diferite, etc., demonstrează în consecință lărgirea ariei de aplicabilitate a roboților de sudură dotați cu senzori vizuali și dispozitiv grafic de instruire și pentru aplicații unde dimensiunile pieselor de sudat nu sînt riguros constante.

De lângă caracteristicile de eficiență și productivitate, metoda de instruire grafică interactivă, permite operatorului evaluarea imediată a rezultatului procesului de instruire prin umărarea pe ecranul grafic interactiv a poziției segmentului model față de imaginea achiziționată a rostului de sudare.

Precizia de urmărire a rostului pentru o anumită valoare a pasului de aproximare este de asemenea ușor de apreciat din imaginile afișate, utilizînd și relațiile de calcul descrise anterior.

Consecințele de ordin practic ale implementării descrise sînt: eliminarea dispozitivelor de indexare și capacitatea de autoinstruire fără intervenția operatorului în cazul în care poziția rostului nu corespunde cu cea avută la instruire, determinînd creșterea semnificativă a eficienței și productivității implementării.

CAPITOLUL 6.

DESCRIEREA FORMALĂ A LIMBAJULUI DE INSTRUIRE GRAFICĂ INTERACTIVĂ A ROBOTULUI KEM-2-S

6.1. Specificarea universului natural și a limbajelor de subsistență pentru un robot industrial în aplicații de sudură

Caracteristicile de execuție ale unui robot industrial într-o aplicație de sudură, pot fi descrise prin precizarea pozițiilor succesive și orientării dispozitivului terminal, partind capul de sudură, relativ la piesele sudate. Noțiunile geometrice principale ale descrierii referite de operator în instruire cuprind tipuri elementare (primitive) ca: puncte și coordonate; precum și tipuri compuse: segmente de dreaptă, plane și suprafețe, împreună cu relațiile între acestea.

Universul natural al robotului industrial, conform definiției 6.2.1.1, cuprinde toate aspectele geometrice ale mediului de lucru, în termenii cărora, în procesul de instruire, operatorul uman generează modelul intern și algoritmi de acțiune și efectelor, pentru atingerea obiectivului impus de aplicație.

Metodele de instruire pentru roboții programabili actuali, instruirea condusă din pasul de instruire, instruirea textuală utilizând limbaje de programare derivate din limbajele pentru programarea calculatoarelor de uz general, etc., au ca bază de descriere a universului natural geometria punctuală euclidiană. Acest cadru matematic, deși natural gândirii logice a operatorului, generează dificultăți practice de utilizare [21], [4], deoarece impune descrierea detaliată până la nivel elementar a tuturor relațiilor universului natural al robotului în termenii pri-

mitivi de coordonate spațiale sau cuple cinematice.

Limbajele de instruire evaluate de tip VAL, PAL /63/, /53/ utilizează spațiul transformărilor de coordonate, constituie o realizare de utilitate practică /63/, însă nu depășesc nivelul primitiv al coordonatelor punctuale geometrice, operatorul având nevoie de cunoștințe extinse de programare pentru utilizarea lor.

Principiile de abstractizare și structurare ierarhica prezentate în capitolele 2 și 3 ale lucrării, în implementări practice devin eficiente, numai în cazul în care în instruire operatorul este scutit de precizarea sarcinilor de acțiune și a modelului intern, în termeni primitivi de coordonate, utilizând în schimb noțiuni de mai mare generalitate.

Modelarea prin limbaje formale, naturale asociate, a funcțiilor subsistemelor unui robot industrial și a universului natural de aplicație, permite determinarea nivelului de abstractizare la care operatorul poate descrie sarcinile de acțiune ale robotului fără referire la elementele primitive de ordin inferior. Pot fi deduse din această specificare metode eficiente de instruire care să inducă robotului reale caracteristici de adaptabilitate.

În figura 6.1.1 se prezintă noțiunile geometrice de bază pentru descrierea universului natural al roboților industriali în aplicații în care sarcinile de acțiune se referă doar la mișcările relative ale dispozitivului terminal al robotului față de obiectele plane implicate, cum este cazul robotului RIM-2-8 în aplicații de sudură în plan.

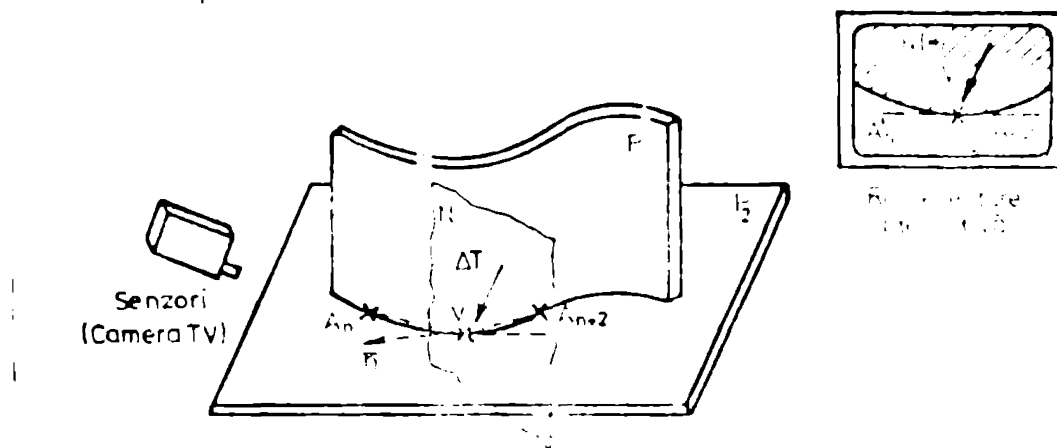


Fig.6.1.1. Noțiunile geometrice de bază ale descrierii sarcinii de aliniere a capului de sudură ΔT pe restul de sudură.

Universul natural în această clasă de aplicații cuprinde, dispozitivul terminal determinat de punctul caracteristic (τ) și dreptele caracteristice MT aparținând planului normal (N) la rostul de sudare, caracterizat prin normala n , care se cere a fi aliniată cu aproximarea rostului de sudură a pieselor P_1 și P_2 prin segmentul model $A_n A_{n+1}$.

Cu ajutorul camerei TV , imaginea sondei de înbinare a pieselor P_1 și P_2 este achiziționată și marcată binar, apoi afișată pe reprezentarea interactivă, suprapusă cu segmentul model al rostului de sudare $A_n A_{n+1}$.

Sarcina de acțiune pentru aliniere adaptivă, specificată implicit prin descrierea segmentului model de rost, este de deplasare a planului (N) până la suprapunerea normalei n , modelată de operator prin segmentul model $A_n A_{n+1}$, cu segmentul de rost $A_n A_{n+1}$.

Operatorul precizează la acest nivel abstract, prin segmente orientate, modelul universului natural al robotului și sarcinile de acțiune.

Se remarcă faptul că în instruire, conform prezentării din capitolul 5 al lucrării, operatorul nu face referiri directe la elementele primitive de descriere ale spațiului geometric de lucru, adică coordonate geometrice sau de cuple cinematice, decât pentru precizarea unei poziții de referință locală corespunzătoare fiecărei suduri.

Universul natural al robotului RMT-2-8 în aplicații de sudură în plan, la nivel semantic operator poate fi descris în consecință de următoarea specificare:

Definiția 2.6.1.1.

Universul natural al robotului RMT-2-8 admite următoarea specificare:

PRINCIPAL : UNIVERSUL NATURAL (U_n)

UNIVERSUL SUCCES : I : Mulțimea numerelor naturale N , n , x , y $\in N$.

Mulțimea matricilor liniare (coordonate) $c^{(j)}$,

$c(n_1, n_2, \dots, n_j) \sim^{(j)}$.

Mulțimea punctelor imaginii P , $P(c) \in P$.

Mulțimea segmentelor S , $s(x, x, y) \in S$.

Mulțimea arilor A , $a(S, S) \in A$.

Mulțimea mișcărilor segmentelor T , $t(S, S) \in T$.

Σ : Mulțimea de simboluri de variabile și constante

(ex.: n, s, x, t, \dots).

SCHEMĂ DE OPERAȚII: $\mathbb{R}^2 \in \bar{N}$	
$\sigma : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^2(j)$	Operația de asociere a coordonatelor unui punct.
$\pi : \mathbb{R}^2 \rightarrow \{0,1\}$	Operația de marcare binară a punctelor.
$d : \mathbb{R}^2 \times \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{S}$	Operația de determinare a unui segment prin punct de început și diferenței de coordonate $(\Delta x, \Delta y)$, pînă la celălalt capăt.
$d_1 : \mathbb{S} \rightarrow \mathbb{S}$	Operația de asociere a direcției perpendiculare într-un punct al segmentului.
$a : d \circ d_1 \circ \pi \rightarrow \mathbb{N}$	Operația de calcul a ariei zonei explorate în jurul unui segment.
$t : a \circ d \rightarrow \mathbb{T}$	Operația de calcul a parametrilor de mișcare.
AXIOMĂ : A (1) $\mathbb{R}^2(p)$	Fiecare punct este unic determinat de coordonatele sale.
(2)	Mulțimile \mathbb{N} și $\mathbb{R}^2(j)$ păstrează proprietățile algebrice de calcul cunoscute.

Se poate observa că specificarea conține scheme de operație omogene, definite unitar peste mulțimea suport, ca: σ , d , d_1 și de asemenea scheme de operație heterogene pentru care în definiția schemei de operație se dau și criteriile de selecție a elementelor mulținii suport, pentru care se operează: a , t , conform precizărilor din parașaratele 4.2 și 5.3 ale lucrării.

De asemenea se poate remarca faptul că specificarea dată (\bar{N}_B) are o structură pe două nivele. Algebra heterogenă de bază (omogenă) este spațiul geometric euclidian punctual cuprinzînd operațiile (σ, σ) de definire a punctelor.

Algebra heterogenă de nivel superior construită peste algebra de bază are scheme de operație d , d_1 , a și t definite în termenii mulțimilor suport de bază.

Limbaajul natural asociat subsistemelor senzori, efectori și unitate de comandă ce obținece interpretare parțială ale specificării universului natural (\bar{N}_B) .

Definiția 2.2.

Subsistemul senzori al robotului nsRT-2-1 este descris de limbaajul:

$$L_0 = \langle M_0, F_0, f_0 : M_0 \rightarrow F_0 \rangle$$

unde:

- M_0 - interpretare pentru (M_0) definită de funcțiile:
 - φ_0 , selectează mulțimile suport $\sigma^{(2)}, \sigma^{(1)}$.
 - ψ_0 , selectează schemele de operație: (o) de asociere a coordonatelor pentru puncte și operația (a) de binarizare.
- F_0 - Mulțimea imaginilor ordonate de elementele caracterizate de coordonate și valoare binară de luminositate;
- f_0 - Funcția de asociere a reprezentării sintactice la semantica M_0 , este funcția identitate sau eventual funcția de scalare pentru operația de asociere a coordonatelor.

Se observă că reprezentarea sintactică prin imagini binarizate păstrează toate caracteristicile geometrice ale poziției relative a obiectelor din imagine, acestea fiind însă conținute implicit în imaginea achiziționată în termeni de coordonate pentru elemente de imagine și marcarea binară a lor.

Definiția D.6.4.3.

Subsistemul efectori al robotului RRM-2-S este descris de limbajul:

$$L_0 = \langle M_0^0, F_0^0, f_0^0 : F_0^0 \rightarrow M_0^0 \rangle$$

unde:

- M_0^0 - interpretarea universului natural (M_0^0) definită de funcțiile:
 - φ_0^0 , selectează mulțimile suport $\sigma^{(3)}, \sigma^{(2)}$;
 - ψ_0^0 , selectează schemele de operație: (o) de asociere a coordonatelor de cuple cinematice și (t) de mișcare a punctului caracteristic;
- F_0^0 - Mulțimea mișcărilor specificate de vectorul de deplasare $t(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3) \in T$.

f_0^{-1} - Funcția de descriere a efectelor mișcărilor punctului caracteristic în sensul determinării coordonatelor lui după o mișcare specificată de un vector de mișcare $t(\Delta \theta_1, \Delta \theta_2, \Delta \theta_3)$.

Intrucît prin necesitățile de deplasare a punctului caracteristic pentru aliniere este relevată doar poziția finală a acestuia în termenii coordonatelor de cuple cinematice, fiecare mișcare specificată de un vector $t(\Delta \theta_1, \Delta \theta_2, \Delta \theta_3)$ este un cuvînt unic determinat în limbajul formal regulat, liber generat de mișcările elementare pe axă, conform reprezentării prin limbaj formal, descrisă în paragraful 4.1 al lucrării.

Poziția relativă a punctului caracteristic, față de piesele constitutive ale universului natural al robotului, este unic determinată numai dacă poziția "scosă", reprezentînd simbolul inițial al limbajului, este fixat.

Este evidentă, în urma acestor precizări, necesitatea generării pentru fiecare aliniere adaptivă a unei poziții de referință locală în termenii de coordonate de cuple cinematice.

Definiția 2.6.1.4.

Existența unitate de comandă al robotului RAFF-2-1 este descrisă de limbajul:

$$L_P = \langle A_P, F_P, f_P : M_P \rightarrow N_P \rangle$$

unde:

M_P - Interpretarea universului natural (M_P) definită de funcțiile:

φ_P , selectează mulțimile suport $N, \sigma^{(2)}, P, L, C, T$
 ψ_P , selectează schemele de operație o, d, θ_1, a, t .

N_P - Mulțimea imaginilor binare a paginii P a reprezentării conținînd segmentul nodul de rost, mulțimea perechilor de coordonate, reprezentînd segmente prin coordonatele de început și dimensiunea pe axe, variabile numerice pentru arii și parametri de deplasare.

f_P - Funcția de asociere a sintaxei N_P descrisă următoarele asocieri:

-planul punctual euclidian conținînd restul de suda-

re, este modelat în pagina P1 a reprezentării interactive, prin imaginea bidimensională binară conținând segmentul model, -variabilele d_1, d_2, \dots, t_i reprezentând noțiunile compuse conform schemelor de operație, sînt identificate cu aceleași noțiuni din geometria euclidiană.

Forma triplanară a reprezentării interactive, facilitînd suprapunerea planului senzori (S), cu planul model (M) peste imaginea reală cu aceeași formă geometrică, permite un simbolism sintactic avînd ca elemente primitive nenijlocite elemente geometrice ale universului natural de aplicație.

O mare parte din relațiile aparținînd interpretării semantice sînt implicit incluse în reprezentările sintactice.

Aceste relații caracteristice universului natural, pot de asemenea fi descrise printr-o altă reprezentare sintactică, cum este de exemplu un limbaj de programare de nivel înalt, generat pentru calculatoare de uz general. Complexitatea reprezentării și caracterul de heterogenitate al mulțimilor suport, pune serioase probleme de programare [21].

Principiile de structurare a programelor și de ascundere a informației, cunoscute din teorie și practica limbajelor de programare, rezultă incluse în mod natural în cadrul reprezentării interactive grafice descrise.

Modelele de limbaj natural asociate subsistemelor principale ale robotului, obținute ca interpretări reprezentînd aspectele specifice lor din universul natural al aplicației, sînt ușor de pus în relație, intrucît au atît reprezentări sintactice cit și interpretări semantice derivate dintr-o sursă unică -specificarea formală a universului natural de aplicație.

Pornind de la aceste modele de subsistență, au putut fi concretizate cu ușurință programele de evaluare a stării curente prin compararea imaginilor de senzori cu modelul prin segmente al spațiului de sudare, precum și algoritmi de acțiune, determinînd comenzile de mișcare pentru sistemul efectelor.

Programele "EVALUAREA STĂRII CURENTE" și "DEFINIȚIA DE MIȘCARE" prezentate în anexa A.2, sînt cuantificări în termenii sistemului de calcul folosit, în cazul implementării descrise

limbajul de asamblare al microprocesorului 8080, a schemelor de operație pentru noțiunile: d , d_1 , a și t , respectînd în același timp restricțiile domeniilor de valori pentru variabilele indicate în specificarea schemei de operație.

În figura 6.1.2 se indică schematic utilizarea noțiunilor sintactice ale limbajelor naturale de subsisteme în programele de evaluare a stării curente și programul de determinare a deciziilor de acțiune.

Programul de "EVALUAREA PARAMETRILOR DE SCALĂ CURENTĂ", calculează parametrii transformării (t) de deplasare a segmentului model ($d(SF)$) prin calculul ariei determinate de acesta și imaginea obținută de la senzori, caracterizată de valorile binare ($*P$) a elementelor ei. Algoritmul de acțiune, de aliniere, descrie comenzile de deplasare a punctului caracteristic $M(P(C_1))$ specificat prin coordonatele sale în termenii de coordonate de cuple cinematice ($P(C_1)$) conform parametrilor corespunzători ai transformării (t).

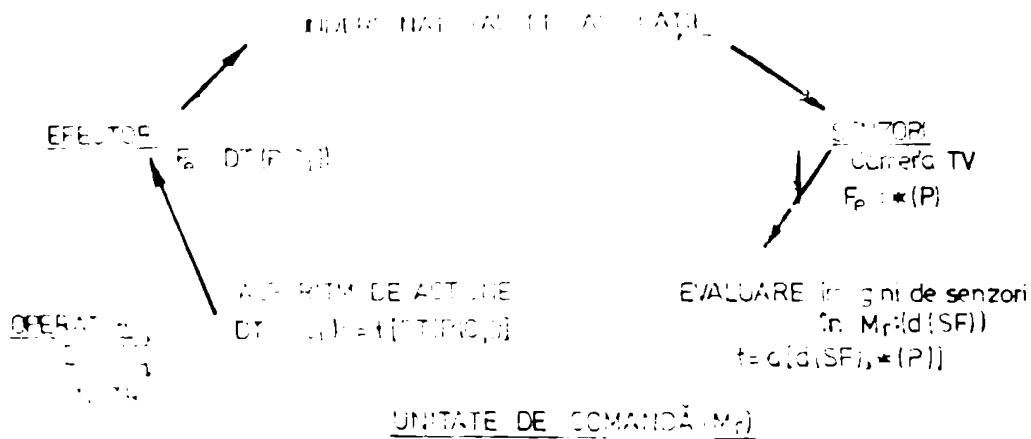


Fig.6.1.2. Reprezentarea schematică a utilizării constructelor sintactice a limbajelor de subsisteme în programele de coordonare în asamblarea subsistemelor.

Se poate remarca simplitatea de legare a noțiunilor aparținînd limbajelor pentru sisteme diferite. Acest fapt este consecința construirii unitare a semnificii și sintaxei limbajelor mo-

del de subsistenă.

Pornind de la aceste descrieri formale într-un cadru unitar a funcționalității și reprezentării sintactice a subsistențelor, au fost deduse principiile de bază ale metodei de programare prin instruire pentru robotul de sudare ESMT-2-6, după cum este prezentat în paragraful următor al lucrării.

6.2. Limbajul de instruire și domeniul de adaptabilitate al robotului ESMT-2-6

eficiența în aplicații a unui robot industrial, este determinată de mulțimea acțiunilor utile pe care poate să le execute și de caracteristicile de adaptabilitate la condițiile variabile ale mediului de lucru.

Instruirea roboților industriali evoluați cu caracteristici adaptive, confruntată cu complexitatea problemei de descriere a mediului de lucru și numărului însemnat de sensuri achiziționate de senzori impune un cadru de modelare de generalitate suficientă pentru a surprinde unitar toate aceste aspecte.

Modelarea universului natural al unui robot industrial într-o clasă de aplicații și a funcționalității subsistențelor ansamblului operator-robot-mediu prin limbaje formale natural asociate, oferă un instrument coerent de analiză a caracteristicilor robotului și a metodelor de instruire.

Inducerea unor caracteristici de adaptabilitate, care să crească eficiența de implementare a unui robot industrial într-o clasă de aplicații, este posibilă numai în cazul în care operatorul descrie universul natural de aplicații și sarcinile de acțiune la un nivel ridicat de abstractizare, utilizând noțiuni de reprezentare sintactică de nivel ierarhic superior, așa cum rezultă din paragrafele 2.2 și 3.2 ale lucrării.

Analiza structurii ierarhice a limbajelor medel a subsistențelor robotului și relațiile de subordonare funcțională între acestea, prezentată în paragraful 3.2 al lucrării, conduce la concluzia existenței unui nivel maxim de structură a limbajelor, în termenii cărui ea limbaj de instruire operatorul poate descrie universul natural al robotului în aplicația considerată și algoritmul de determinare a deciziilor de acțiune pentru atingerea stării obiective. Acest rezultat este cuprins în propoziția P.3-2.2, care

indică că nivelul maxim de instruire este nivelul până la care limbajele formale asociate subsistemelor, deduse ca interpretări funcționale a specificării universului natural, sînt limbaje independente de context.

Pentru implementarea avută în vedere a robotului R_{111-2} limbajele formale naturale asociate subsistemelor senzori, efectori și unitate de comandă sînt prezentate în paragraful 6.1 al lucrării.

Limbajele model pentru subsistemele senzori și efectori au un singur nivel ierarhic, și îndeplinesc condiția impusă de independență de context, dacă sînt utilizate pentru a reprezenta numai aspecte locale de poziții relative și respectiv mișcări ale punctului caracteristic față de un reper de referință precizat explicit .

Reprezentarea sintactică a limbajului natural asociat subsistemului senzori (F_g) cuprinde mulțimea imag. inilor bidimensionale de elemente cu valoare binară de luminositate, poate și cuprinde concretizări ale unor limbaje de mare generalitate aparținînd clasei limbajelor formale matriciale /15/, /16/.

În procesul de determinare a poziției curente a robotului de sudare, prin evaluarea în imaginea achiziționată de senzori a imaginii model a universului natural cuprinsînd segmentul model de rost, se utilizează doar informațiile referitoare la poziția îmbinării pieselor ce definesc rostul de sudare, acestea fiind marcate diferit prin luminositate. Întrucît coordonatele punctelor de imagine achiziționată și model sînt identice și corespund poziției reale a pieselor, eventual cu un factor de scalare, ca rezultat al caracteristicilor constructive a reprezentării interactive, nici operația de succiere a coordonatelor de arcașaj (σ) utilizată în evaluare nu este caracteristică reprezentării sintactice de senzori (F_g).

Fiecare imagine achiziționată de la camera TV poate fi obținută prin translații și rotații dintr-o imagine carecare precizată a rostului de sudare. În paragraful 4.1 al lucrării s-a exemplificat modul de generare a unui astfel de limbaj cu o gramatică regulată, deci limbajul natural al subsistemului senzori este independent de context.

Limbajul natural asociat subsistemului efector (F_e) descrie poziția punctului caracteristic al dispozitivului terminal

în termenii de coordonate de cuple cinematice, poate fi simplă specificată de o gramatică regulată, eventual o gramatică regulată programată așa cum a fost descris în paragraful 4.1 al lucrării. Apartenența limbajului natural a subsistemului efectori la clasa limbajelor independente de context este astfel demonstrată. Este important de remarcat și în acest caz caracterul local al reprezentării sintactice considerate, rezultând din necesitatea cunoașterii unei poziții de referință, corespunzătoare simbolului de start al gramaticii de specificare a limbajului.

Limbajul natural asociat unității de comandă este un limbaj cu o reprezentare sintactică (T_p) organizată pe două nivele ierarhice. Nivelul de bază al limbajului cuprinde operația (e) de asociere a coordonatelor elementelor de imagine și operațiile algebrice cunoscute ale mulțimii de coordonate.

În termenii acestui nivel de bază, prin program operatorul generează segmentul model al restului de sudare. Din punct de vedere formal algebric, operația de determinare a segmentului (d), împreună cu celelalte operații necesare pentru evaluarea segmentului model în imaginea schizafionată de senzori, (d_1 , a, t), constituie al doilea nivel de ierarhie, reprezentat în termenii primului nivel.

Operațiile (d_1) și (a) concretizează de fapt funcția de evaluare a segmentului model în imaginea de senzori, iar operația (t) descrie algoritmul de acțiune în termenii de limbaj efectori (T_e). Aceste noțiuni sînt cuprinse în programele descrise în capitolul 5 al lucrării și sînt: "EVALUARE PARAMETRI DE STARE CURENTĂ" și "DECIZIE DE ACȚIUNE".

În cazul programării prin instruire pentru aliniere pe rest liniar, pentru alinierea la un capăt al restului de sudare, operatorul precizează doar segmentul model, evaluarea parametrilor de stare curentă și decizia de acțiune fiind în acest mod implicit de esența descrisă. Algoritmul de acțiune implicit precizat este efectuarea mișcărilor de aliniere conform parametrilor de stare curentă în mod iterativ.

În cazul programării prin instruire pentru sudarea pe rest curbiliniu, procesul de autoinstruire pentru determinarea formei restului prin punctele lui intermediare este de fapt algoritmul de acțiune precizat implicit prin modelul universului natural. La construcția modelului s-au precizat un segment de dreaptă ca model al restului și apoi în termenii de coordonate de cuple cinematice

un alt segment care definește lungimea pasului de aproximare.

Programul descrie de operater în mod implicit prin precizarea modelului universului natural ca o succesiune de două segmente, specifică implicit și algoritmi de acțiune așa cum este precizat în următoarea specificare, ce utilizează formularea sintactică mai explicită a limbajelor de programare de un genral actual:

PROCEDURĂ Autoinstruire pe rost de sudare curbiliniu

EXILF Evaluare (segment model) = 0 20

Segment model 1; Precizarea segmentului model selectează implicit programele memorate de evaluare și alinieză pe o porțiune de rost de sudare.

Segment pășire; Segmentul fiind memorat în termeni de coordonate de cupla, algoritmul de mișcare este cuprins în programul "Comenzi de mișcare".

END

Segment model 2; Alinierea de capăt cu următorul segment model.

END

Programele asociate atingerii unei stări obiectiv, în cazul de față segmentul model aliniat cu restul de sudare, nu necesită alte date de intrare. În plus față de specificarea pe reprezentarea interactivă a segmentului model, acesta poate fi utilizat ca element primitiv al limbajului de instruire.

Conform propoziției P.3.2.2, care precizează nivelul ierarhic maxim posibil ce poate fi utilizat în instruire, stabilirea nivelului de instruire la nivelul doi al limbajului natural asociat unității de comandă este posibilă, întrucât toate trei limbajele de subsistem pînă la acest nivel satisfac condiția de independență de context.

Limbajul de instruire include între elementele lui fundamentale (alfabet) și un segment degenerat la un punct, reprezentînd reperul de referință pentru toate cele trei subsisteme ale robotului. Acesta reprezintă simbolul inițial al fiecărui limbaj.

Pentru implementarea descrierii a robotului RAB-2-S, limbajul practic efectiv de instruire include și comenzile de generare a segmentului model pe afișajul grafic interactiv, precum și

comenzile specifice de mișcare din penon a dispozitivului terminal în poziția referință locală pentru fiecare sudare.

Rezultatele de importanță practică a programării prin instruire la un nivel de abstractizare ridicat sînt caracteristicile de adaptabilitate înfuzate în acest mod robotului.

Programarea prin instruire la un nivel de abstractizare ridicat, prin utilizarea unor noțiuni cu reprezentare sintactică complexă, impune implementarea constructivă în memoria unității de comandă a unor programe care concretizează definițiile formale și evoluările cu date de senzori a acestor noțiuni. Programele "STABILIRE PARAMETRI DE STARE CURENTĂ" și "COMENZII DE MIȘCARE", constituie implementări ale operațiilor d_1 , a , t și respectiv a mecanismului generativ de mișcare în termenii mișcărilor unitare pe axe.

În capitolul 3 este prezentată propoziția P.3.2.3, consecință a propoziției P.3.2.2 referitoare la nivelul de abstractizare, al limbajului de instruire, care indică modul de determinare al domeniului de adaptabilitate al unui robot într-o clasă de aplicații în urma fixării limbajului de instruire. Propoziția P.3.2.3 arată că domeniul de adaptabilitate este mulțimea modificărilor universului natural relativ la o stare curentă a lui, care pot fi descrise în cadrul limbajului de instruire.

Pentru cazul robotului RENT-2-S în implementarea descrisă în lucrare, pentru care nivelul de instruire a fost ales la nivelul modelării prin segmente a poziției relative a restului de sudare, domeniul de adaptabilitate este determinat de următoarea descriere:

- Domeniul de adaptabilitate al robotului RENT-2-S, dotat cu camera TV și dispozitiv grafic de instruire, în clasă de aplicații de sudare în plan, este mulțimea pozițiilor relative și a formelor de rost de sudare fără discontinuități ce pot fi deseguite prin deplasări în plan limitate la câmpul de vizibilitate al camerei, a unei liste de segmente de dreaptă.

În implementarea experimentată, deplasările posibile ale rostului au fost restrinse la valori mici, din considerente de rezoluție și simplitate de calcul, însă aceasta nu este o limitare reală.

Necesitatea unui punct de referință variabil pentru toate subsistemele robotului, în sensul reprezentării lui unitare în limbajele natural asociate determină mulțimea de segmente model,

ce pot fi specificate de operator în instruire și incluse în lista model.

Sudări multiple sînt posibile numai prin programarea prin instruire separată, indicînd pentru fiecare sudură un reper de referință propriu.

Rezultatele experimentale prezentate în paragraful 3.2 demonstrează capacitatea de adaptare a implementării prezentate a robotului RMT-2-L.

Efficiența de implementare a robotului în aplicația de sudare în plan crește, întrucît caracteristicile de adaptabilitate prin aliniere automată la poziții de rost deplasate față de poziția avută la instruire elimină dispozitivele de indexare a pienei supuse sudării.

Procesul de programare prin instruire prin modelare grafică se desfășoară așa cum a fost demonstrat la un nivel de abstracție ridicat, utilizînd ca elemente primitive de reprezentare sintetică a limbajului de instruire segmente de dreaptă generate pe afișajul grafic interactiv.

Din punctul de vedere al operatorului acest limbaj de instruire este cît se poate de natural. În nici o etapă a procesului de programare prin instruire operatorul nu operează în termeni de coordonate de afișaj sau cuple cinematice. Astfel operatorul este scutit de cunoașterea tuturor operațiilor specifice spațiului algebric al coordonatelor cît și a operațiilor de evoluare a parametrilor de stare curentă. Aceste observații indică posibilitatea creșterii productivității procesului de programare prin instruire și reducerea cerințelor de cunoștințe de programare a operatorului.

Descrierile formale ale modelelor prin limbaj natural a subsistemelor robotului oferă o bază solidă de cercetare în vederea îmbunătățirii performanțelor robotului prin creșterea posibilităților de adaptabilitate și în consecință lărgirea gamei de aplicații.

Propozițiile P.3.2.2 și P.3.2.3 indicînd limbajul de instruire și nivelul de adaptabilitate pot constitui criteriile de apreciere a oportunității implementării unor noi sisteme senzoriale sau a prelucrării complexe a imaginilor de la camera TV, a noi structuri cinematice pentru subsistemul efectelor.

Problema programării prin instruire a roboților industriali actuali dotați cu senzori evoluși, dobîndiște prin metodele de

modelare și analiza deosebită, o bază teoretică de studiu. Acestea permit determinarea metodelor și mijloacelor de construcție optime pentru noile generații de roboți industriali, contribuind astfel la creșterea eficienței de aplicare și lărgirea ariei de aplicații a roboților industriali.

CAPITOLUL 7.

CONCLUZII ȘI CONTRIBUTII

7.1. Concluzii și direcții de cercetare în continuare

Utilizarea crescândă a roboților industriali în cadrul celulelor flexibile de fabricație industrială, determină realizarea unor roboți evoluți care să ducă la creșterea eficienței și productivității implementării. Principalul factor de sporire a eficienței în aplicare este capacitatea de adaptare a robotului, care-i dă posibilitatea efectuării independente a unor sarcini de acțiune complexe.

Dezvoltarea și implementarea practică a unor roboți industriali cu caracteristici de adaptabilitate, impune fundamentarea teoretică și realizarea unor noi mijloace și metode de comunicare operator-robot, factori principali ai procesului de instruire al robotului.

Comunicarea robot-operator asupra unor sarcini de acțiune aparținând unor contexte de sistem complexe, care cu necesitate ca dialogul să se desfășoare la un nivel conceptual, la un nivel ridicat de abstractizare în termenii unei reprezentări simbolice adecvate. Prescrierea mediului de lucru și a sarcinilor de acțiune la un nivel de abstractizare ridicat, eliberează operatorul de sarcini la nivel particular și permite implementarea unor caracteristici adaptive robotului.

Limbajul de instruire și dispozitivul suport de instruire trebuie să permită în consecință utilizarea unor noțiuni abstracte de suficientă generalitate, specificând complet obiectele mediului de lucru și instrucțiunile de acțiune pentru concretizarea scopului urmărit.

Pentru precizarea principalelor noțiuni care intervin în specificarea funcției și caracteristicilor procesului de programare prin instruire a unui robot industrial, în capitoul 2 al lucrării se propun definiții pentru universul natural al robotului, reprezentând descrierea obiectelor și relațiilor mediului de lucru, precum și a modelului memorat intern în unitatea de comandă a acestuia. De asemenea se propun definiții pentru starea finală obiectiv și mulțimea stărilor curente pe care robotul în execuție independentă le transformă în starea obiectiv, utilizând modelul memorat asupra mediului și programul de acțiune generat de operator în procesul de instruire. Mulțimea acestor stări a universului natural al robotului constituie domeniul de adaptabilitate.

În vederea analizei caracteristicilor procesului de instruire și a determinării metodei de instruire optime cu elementul ei principal, limbajul de instruire, se propune modelarea subsistemelor ansamblului operator-robot-mediul printr-un limbaj formal care descrie funcția acestuia în ansamblu.

Ca urmare a necesităților de abstractizare conceptuală în procesul de instruire este necesară o specificare a structurii ierarhice a noțiunilor limbajului, pentru a cărei descriere în lucrare se propune utilizarea cadrului matematic de modelare al structurilor algebrice heterogene. În acest cadru atât aspectele funcționale ale subsistemelor reprezentând semantica limbajelor model cât și reprezentarea lor sintactică sînt unitar definite cu ajutorul conceptelor de specificare și interpretare.

Prin analiza relațiilor de subordonare a subsistemelor în ansamblu utilizînd modelarea prin limbaj, în capitoul 3 al lucrării se demonstrează o propoziție referitoare la structura ierarhică a limbajelor de subistență, din care se determină limbajul de instruire prin noțiunile sale primitive de nivel maxim în structura ierarhică a specificării modelului universului natural.

O consecință de importanță practică a acestei propoziții este că, interpretarea limbajului de instruire astfel determinat, în cadrul specificării universului natural de aplicație, definește domeniul de adaptabilitate al robotului.

Modelarea și analiza problemelor de instruire a unui robot industrial într-o clasă de aplicații, în acest cadru de modelare de mare generalitate, permite determinarea metodei optime de in-

truire cu elementul ei principal, limbajul de instruire, care să permită inducerea unor caracteristici de adaptabilitate pentru roboții industriali evoluți.

Acest cadru de analiză teoretică a problemelor instruirii constituie un instrument de cercetare și realizare a unor roboți industriali evoluți cu caracteristici de adaptabilitate.

Conceptele teoretice și metodele de analiză deduse, au fost utilizate pentru realizarea unui dispozitiv de instruire grafică interactivă pentru programarea și instruirea roboților dotați cu senzori vizuali. Se propune o structură de afișaj grafic interactiv cu trei planuri de afișaj suprapuse, pe cele trei canale de culoare a unui monitor TV color.

Această reprezentare interactivă permite vizualizarea simultană, de către operator, în procesul de programare prin instruire, a imaginii reale a mediului de lucru, a imaginii achiziționate de la camera TV și a modelului pe care acesta îl generează pentru reprezentarea universului natural al robotului.

Pentru verificarea experimentală a soluției propuse a fost utilizat robotul de sudare cu arc în mediu protector *ROB-2-1*, dotat cu o cameră TV și dispozitivul grafic interactiv de instruire, în aplicații de sudare în plan.

Aplicația pusă în vedere a fost alinierea adaptivă la poziții deplasate ale rostului de sudare față de poziția neutră la instruire.

În vederea inducerii caracteristicilor de adaptabilitate, robotul a fost programat prin instruire, modelând rostul de sudare cu degajare de dreaptă, de asemenea, memorând cu ajutorul panoului de instruire poziția de referință locală a punctului caracteristic al dispozitivului terminal al robotului.

Au fost realizate și implementate programe pentru unitatea de comandă și dispozitivul grafic interactiv de instruire, pentru evoluarea stării curente a rostului în termeni primitivi de coordonate de afișaj și translatarea acestor valori în termeni nișelor unității de cuple cinematice.

Intrucît în procesul de instruire, prin indicarea secvențelor model al rostului de sudare, se selectează implicit și algoritmi de aliniere cuprinși în programele unității de comandă, operatorul este scutit de avertisiri la elementele primitive ale speci-

ficării universului natural al robotului, care sînt coordonatele de afișaj și coordonatele de cuple cinematice.

În capitolul 6 al lucrării se demonstrează, prin indicarea limbajelor formale naturale asociate subsistemelor robotului RENT-2-S, suficiența instruirii prin segmente model care aparțin nivelului ierarhic superior al specificității universului natural al robotului.

Autoinstruirea robotului RENT-2-S pentru sudarea pe rost curbiliniu, descrisă în paragraful 5-4, rezultând în determinarea independentă a punctelor intermediare de rost de sudare, demonstrează caracteristicile de adaptabilitate inițiale prin utilizarea unui limbaj de instruire avînd ca elemente primitive concepte la un nivel ridicat de abstractizare.

Rezultatele experimentale, pentru implementarea descrisă a robotului de sudare RENT-2-S, satisfac cerințele de precizie impuse de aplicație. Formularea de eroare de poziționare a punctului caracteristic a dispozitivului terminal are ca precizie de aliniere la rostul de sudare este determinată de rezoluția sistemului de senzori, putînd fi îmbunătățită prin creșterea acestui parametru al sistemului de achiziție a imaginilor, de la camera TV.

Caracteristicile demonstrate de adaptabilitate ale implementării descrise, a robotului RENT-2-S, permit eliminarea dispozitivelor de indexare a pieselor supuse sudării, necesare în cazul lipsei senzorilor vizuali și a instruirii prin conducere de la panoul de instruire. Rezultă o creștere a eficienței de implementare a robotului și a operativității de trecere de la un tip de piesă la altul.

Instruirea grafică interactivă, prin modelarea rostului de sudare, ca element principal al universului natural al robotului, prin segmente de dreaptă model, precum și posibilitatea autoinstruirii adaptive în cazul rostului de sudare curbiliniu. Crește de asemenea eficiența și operativitatea procesului de instruire, eliberînd operatorul de sarcina de precizare a formei rostului în termeni geometrici.

Ca principale direcții de cercetare deschise de rezultatele prezentate se pot menționa, extinderea ariei de aplicabilitate a implementării descrise a robotului RENT-2-S, pentru sudare după un rost de sudare în spațiu tridimensional și dezvoltarea cadru-

lui teoretic de analiză a problemelor instruirii roboților industriali, prin modelarea lingvistică a funcționalității subsistemelor ansamblului operator-robot-mediu.

Extinderea ariei de aplicație a robotului RAK-2-1 pentru sudarea în spațiul tridimensional, impune determinarea relațiilor și algoritmilor de descriere a deplasărilor punctului caracteristic al dispozitivului terminal în termenii coordonatelor de cuple cinematice, din evoluarea segmentului de rost în imaginea achiziționată, de la camera TV. Pentru aceasta, trebuie determinată relația de translație univocă a parametrilor rezultăți din compararea imaginii achiziționate de la camera TV cu segmentul model, în limbajul sistemului efector, specificat de cuplele cinematice ale structurii mecanice și reprezentat de gramatica generativă formală având ca producții mișcările elementare pe axe, conafera prezentării din paragraful 4.1 al lucrării.

Cadrul teoretic de analiză al problemelor instruirii roboților industriali prin modelarea lingvistică a subsistemelor ansamblului operator-robot-mediu este un instrument de studiu de mare generalitate. Modelul prin limbaje naturale de subsistem poate fi studiat atât la nivelul reprezentării semantice de specificare a funcționalității subsistemelor în ansamblu, cât și la nivel de reprezentare sintactică prin analiza relațiilor de subordonare a gramaticilor generative ca specificări formale pentru limbajele naturale asociate subsistemelor ansamblului operator-robot-mediu.

7.2. Contribuția

Obiectivele cercetării a cărei rezultate sînt prezentate în lucrare au fost: analiza relației între caracteristicile roboților actuali evoluați și metodele de instruire în vederea fundamentării teoretice, determinării și realizării unor noi metode și mijloace de programare prin instruire a roboților industriali, care să inducă roboților caracteristici adaptive pentru sporirea eficienței de implementare și lărgirea ariei de aplicabilitate.

În concordanță cu aceste obiective și a rezultatelor obținute, lucrarea cuprinde următoarele rezultate principale:

1. Analiza caracteristicilor procesului de instruire a unui robot industrial, ca principală legătură între operator și robot, cu referință la dispozitivele metode de instruire și la elementul

principal al procesului, care este limbajul de programare prin instruire.

2. Descrierea problemelor specifice instruirii roboților industriali evoluți cu caracteristici de adaptabilitate, relevând rolul principal al problemelor de abstractizare și reprezentare în procesul de interacțiune informațională a subsistemelor ansamblului operator-robot-mediul de lucru.

3. Propunerea unui cadru teoretic de descriere a interacțiunilor elementelor sistemului, în procesul de instruire, prin modelare subsistemelor ansamblului operator-robot-mediul în cadrul teoriei limbajelor formale, determinând și demonstrând relația dintre limbajul de instruire și limbajele naturale de reprezentare a subsistemelor implicite.

4. Analiza metodei de instruire a roboților programabili actuali cu ajutorul panoului de instruire și a limitelor de aplicabilitate a acestei metode.

5. Descrierea unui dispozitiv grafic de instruire interactivă, realizat pentru implementarea robotului RRM-2-S în aplicații de sudare.

6. Descrierea unei metode de programare prin instruire grafică interactivă a robotului RRM-2-S pentru sudare în plan pe un rost de sudare liniar și curbiliniu, indicând caracteristicile de adaptabilitate iniuse în acest scop rezultatele experimentării acestui model cu robotul RRM-2-S.

7. Descrierea formală a limbajului de instruire a robotului RRM-2-S, dotat cu cameră TV și dispozitivul grafic de instruire, indicând caracteristicile de adaptabilitate.

Contribuțiile originale ale autorului desprinse din aceste rezultate sînt:

1.1. Determinarea principalilor caracteristici ale procesului de instruire în funcție de generația din care face parte robotul și de complexitatea sarcinilor de acțiune impuse prin instruire, utilizînd diferite metode de instruire.

2.1. Descrierea relației între aspectul de ansamblu și detaliile particulare în specificarea sarcinilor de execuție prin intermediul limbajului de instruire, relevînd necesitatea unui

proces de abstractizare în reprezentarea datelor și determinarea instrucțiunilor de acțiune aparținând limbajului de instruire.

3.1. Se propun definiții pentru principalele noțiuni implicate în procesul de instruire: univers natural al robotului, mediu memorat intern, stare obiectiv, stare curentă, program de acțiune, domeniul de adaptabilitate.

3.2. Se propune modelarea unui subsistem al complexului operator-robot-mediu printr-un limbaj formal natural asociat, indicând definiții pentru semantica și sintaxa formală a acestui limbaj.

3.3. Reducerea din analiza funcționalității sistemului operator-robot-mediu a relației de interpretare semantică unică a reprezentărilor sintactice a limbajelor de subsistem și a relației de concordanță a funcțiilor de asociere a reprezentărilor sintactice la reprezentarea semantică a limbajelor de subsistem.

3.4. Se propune reprezentarea structurii interne a limbajului natural a unui subsistem în cadrul teoriei algebrelor heterogene, pentru specificarea unității a semanticii și sintaxei limbajelor natural asociate, utilizând conceptele de interpretare și algebră de cuvinte peste un alfabet.

3.5. Se demonstrează o propoziție de importanță pentru reprezentarea sintactică a limbajului de instruire, referitoare la determinarea nivelului maxim posibil de abstractizare în instruire și se deduce o consecință care permite determinarea domeniului de adaptabilitate al unui robot, fiind precizat limbajul de instruire.

- Determinarea limbajului de instruire din limbajele de subsistem prin verificarea condiției de independență de context.
- Reducerea domeniului de adaptabilitate a unui robot din limbajul de instruire, prin generare liberă la nivelele ierarhice inferioare.

4.1. Se dă o descriere formală limbajului de instruire a roboților care utilizează un paucă de instruire, printr-o gramatică generativă.

4.2. Pe baza modelului formal al limbajului de instruire a roboților programabili cu instruire prin panoul de instruire, se determină limitele de aplicabilitate ale metodei și absența unor caracteristici reale de adaptabilitate.

5.1. Se propune o nouă structură pentru reprezentarea interactivă a unui robot industrial evaluat, având trei planuri de afișaj suprapuse prin transparență, cuprinzând imaginea model a universului natural, imaginea schizitionată și prelucrată de la senzori și imaginea TV reală a mediului.

5.2. Realizarea și experimentarea pe robotul de sudare RMT-2-0 a unui dispozitiv grafic de instruire, proiectat conform noii structuri propuse, cuprinzând:

5.3.1. Memorie de imagine cu circuite de comandă pentru achiziția și afișajul în două plane suprapuse de afișaj.

5.3.2. Circuite de interfață cu camera TV și circuite de conversie serie-paralelă.

5.3.3. Circuite de interfață cu un monitor alb-negru și un monitor color.

5.3.4. Interfață cu unitatea de comandă a robotului RMT-2-0, prin intermediul unui microprocesor cu terminal operator, simulând unele din funcțiile unității de comandă.

6.1. Implementarea camerei TV și a dispozitivului grafic de instruire pe robotul RMT-2-0, și experimentarea caracteristicilor de adaptabilitate în aplicații de sudare în plan:

6.1.1. Descrierea universului natural al robotului reprezentat de restul de sudare, ca o listă cu segmente de model și un punct de referință locală.

6.1.2. Descrierea și implementarea prin program a unei metode de programare prin instruire pentru sudare pe rest liniar.

6.1.3. Descrierea și implementarea prin program a unui algoritm de aliniere adaptivă a dispozitivului termi-

nal al robotului prin punctul caracteristic la poziția actuală a capetelor rostului de sudare.

6.1.4. Descrierea și implementarea prin program a unui algoritm de autoinstruire pentru sudare pe rost curbiliniu, proces în care prin aliniere adaptivă la rost se determină pozițiile de aproximare intermediare față de capetele indicate ca model de operare.

6.2. Determinarea relațiilor de calcul pentru estimarea preciziei de aliniere adaptivă la poziții deplasate ale rostului de sudare și compararea rezultatelor calculului cu rezultatele experimentale.

7.1. Descrierea formală, utilizând conceptele de specificare și interpretare, a limbajelor naturale asociate subsistemelor senzori, efectori și unitate de comandă pentru robotul RIMT-2-4 în aplicații de sudare în plan.

7.2. Demonstrarea posibilității de programare a robotului RIMT-2-3 prin modelare grafică a rostului de sudare cu segmente de dreaptă, indicând avantajele de eficiență a acestei metode de programare prin instruire față de instruirea cu ajutorul panoului de instruire.

7.3. Deducerea, din specificările formale ale limbajelor naturale asociate subsistemelor robotului RIMT-2-3, a domeniului de adaptabilitate în aplicații de sudare în plan. Rezultă capacitatea robotului RIMT-2-3 de aliniere adaptivă la poziții deplasate a rostului de sudare față de poziția avută la instruire, determinând o creștere a eficienței implementării și posibilitatea eliminării dispozitivelor de indurare.

BIBLIOGRAFIE

1. Allen D.A., Measuring the empirical properties of sets, IEEE Transactions SMC, SMC-4, No.1, January 1974.
2. Baltag T., et.al., Calculatoarele electronice, grafica interactiva și prelucrarea imaginilor. Ed.Tehnică, București, 1985.
3. Irik J., A computation for robots to orient and position hand-held workpieces, IEEE Transactions SMC, SMC-6, No.10, October 1976.
4. Bonner S., Shin K., Comparative study of robot languages and computers, No.12, Dec.1982.
5. Correll J., The solid modelling marketplace, Computer graphics world, No.11, November 1982.
6. Chassery L.M., Connectivity and consecutivity of digital pictures, Computer graphics and image processing, No.9, 1979.
7. Crigan I., Roboții în industria românească, în: Inteligența artificială și robotica, Ed.Academiei RSR, București, 1983.
8. Davidoviciu A., Robotica și inteligența artificială în: Inteligența artificială și robotica, Ed.Academiei RSR, București, 1983.
9. Davidoviciu A., Răduța M., Roboți industriali, Ed.Tehnică, București, 1985.
10. Davidoviciu A., Perfecționarea comunicării om-robot industrial AMF 42, Cibernetica sistemelor industriale, 1983.
11. Davis L., Understanding shape II Symmetry, IEEE Transactions SMC, SMC-7, No.5, March 1977.
12. Davis L., Henderson T., Hierarchical constrained processes for shape analysis, IEEE Transactions PAMI, PAMI-3, May 1981.
13. Drăgăneșcu M., A doua revoluție industrială. Microelectronica, automatizația, informația, factori determinanți, Ed. Tehnică, 1986.
14. De Young, Adaptive system design. A genetic approach, IEEE Transactions SMC, SMC-9, No.10, October, 1979.
15. Fu K.S., Booth T., Grammatical inference, Introduction and survey (part I), IEEE Transactions on SMC, SMC-5, No.1, January 1975.

16. Fu K.S., Booth T., Grammatical inference, introduction and survey (part II), IEEE Transactions on SMC, SMC-5, No.4, July 1975.
17. Fu K.S., Pattern recognition for visual inspection, Computer No.12, Dec. 1962.
18. Fu K.S., A syntactic approach to shape recognition, using attributed grammars, IEEE Transactions on SMC, SMC-9, No.6, June, 1979.
19. Georgescu I., O abordare non-von-Neumann a structurii echipamentelor în inteligență artificială, în: Inteligență artificială și robotice, Ed.Academiei RSR, București, 1983.
20. Georgescu I., Elemente de inteligență artificială, Ed.Academiei RSR, București, 1985.
21. Giui G., Giui M., ADA a language for robot programming, Computers in industry, vol.3, No.4, Dec. 1982.
22. Gotn J., et.al., Control algorithm for precision insert operation robots, IEEE Transactions on SMC, SMC-10, No.1, Jan. 1980.
23. Ionif Gh., Popescu E., Psihologia inginerescă și activitatea de proiectare și exploatare a sistemelor complexe, Ed. Academiei RSR, București, 1983.
24. Istrail S., A fixed-point approach to contextual languages, Rev. Roum. Math. pures et appl. Tom XXV, No.6, București, 1980.
25. Jiveș I., Programarea prin instruire a roboților industriali actuali, referat II, pregătire pentru doctorat, Fac.Electrotehnică, 1984.
26. Jiveș I., Socolius R., Utilizarea modelelor structurate ierarhic în specificarea unității de comandă pentru roboți industriali, Tehnic 2000, Electrometal Timișoara, 1984.
27. Jiveș I., Evaluation of adaptive capabilities of a industrial robot using linguistic modelling, Lucrările celui de-al IV-lea Simpozion național de robotică, 17-19 sept.1985, București.
28. Jiveș I., Measurement theoretical aspects in industrial robots sensory data representation, Lucrările Sesiunii de comunicare: Tehnica și teoria măsurării, IARM Timișoara, 5-7 dec.1985.
29. Jordan B., et.al., An improved algorithm for the generation of nonparametric curves, IEEE Comp., C-32, No.12, Dec.1973.

30. Kato I., Kasagawa Y., Stadiul dezvoltării roboticii, AME 40, IPAS Kyoto Japan, 1981.
31. Kovacs I., Roboții în acțiune, Ed. Fac. Tehnice Timișoara, 1985.
32. Minsky I., Teorie de programare, scheme, probe, semantice, Dunot, Paris, 1975.
33. Lorenz-Peters T., Robot programming, IEEE Proceedings, vol.71, No.7, July 1983.
34. Magda R., Neață A., Programarea și comanda roboților industriali românești în: Inteligență artificială și robotica, Ed. Academiei R.P.R., 1983.
35. Malek D., Parent M., An evolutive language for an intelligent robot. The industrial robot, 1983, Sept. 1980.
36. Marcus Solomon, Gîndirea algoritmică, Ed. Științifică și enciclopedică, 1981.
37. Măndrutescu D., Teocul G., Voinea C., Programarea textuală a roboților, în: Inteligență artificială și robotica, Ed. Academiei R.P.R., 1983.
38. Neață A., Folosirea calculului simbolic în determinarea automată a modelului dinamic pentru structuri mecanice antropomorfe, în: Inteligență artificială și robotica, Ed. Academiei R.P.R., București, 1983.
39. Mureșan T., Comanda și acționarea roboților industriali, prelegeri de curs, Fac. Electrotehnică, I.T.V. Timișoara, 1985 - 1986.
40. Nagata T., A learning system with the ability to grasp its situation, IEEE Transactions CAS, CAS-5, No.1, January 1975.
41. Nevin J.L., et al., Assembly research, The industrial robot, No.3, March 1980.
42. Nicolau C., Limbaj și strategie, Ed. Științifică și pedagogică, București, 1983.
43. Nicolau C., Băinoianu T., Elemente de neorobotică, Ed. Științifică și enciclopedică, București, 1987.
44. Nicolau C., Analogie, modelare, simulare cibernetică, Ed. Științifică și enciclopedică, București, 1977.
45. Nicolau C., Natural and artificial languages, în: Inteligență artificială și robotica, Ed. Academiei R.P.R., București, 1983.
46. Niculescu L., Găleșteanu D., Microprocesoare și limbaje extensibile, Ed. Științifică și enciclopedică, București, 1982.
47. Ogman C., Limbaje formale, Ed. Tehnică, București, 1982.

48. Păun Gh., Mecanisme generative ale proceselor economice, Ed. Tehnică, București, 1966.
49. Păun Gh., Probleme actuale în teoria limbajelor formale, Ed. Științifică și enciclopedică, București, 1964.
50. Păun Gh., Gramaticii contextuale, Ed. Academiei RSR, București, 1962.
51. Palk R., Robotic solder dipping, Robots in industry, Unimation, Fall, 1965.
52. Pop S., et.al., Tehnici moderne de măsurare, Ed. Pacla, Timișoara, 1963.
53. Heger I., et.al., Artificial intelligence programming languages for computer aided manufacturing, IEEE Transactions on SMC, SMC-9, No.4, 1979.
54. Rossi M., Water jet cutting robot, Robots in industry, Unimation, Fall, 1965.
55. Rouse W., Human-computer interaction in multitask situations, IEEE Transactions on SMC, SMC-7, No.5, May 1977.
56. Bus T., Mecanisme formale pentru specificarea limbajelor, Ed. Academiei RSR, București, 1963.
57. Bus T., Structuri de date și sisteme de operare, Ed. Academiei RSR, București, 1974.
58. Sanderson A.G., Perry G., Sensory-based robotic assembly systems: Research and application in electronic manufacturing, IEEE Proceedings, Vol. 71, No.7, July 1963.
59. Seiunson I., Experiința introducerii sistemului flexibil de fabricație (FMS) și efectul său într-o fabrică constructoare de mașini, AET 39, IFAC Kyoto, Japonia, 1961.
60. Sirbu M., et.al., Structura și algoritmi de conducere pentru prima generație de roboți industriali, AET 42, Cibernetica sistemelor industriale, 1984.
61. Shakel S., A model, language design and experiments for man/machine communications in computer aided manufacturing. Proceedings of 3rd CIEM-IFTOMI Symposium, Theory and practice of Robots manipulators, Udine, Italy, Sept.1976.
62. Skalsensky J., A theory of nonuniformly digitized binary pictures. IEEE Transactions on SMC, SMC-6, No.9, Sept. 1976.
63. Takase K., Paul R., A structured approach to robot programming and teaching. IEEE Trans.on SMC, SMC-11, No.4, April.1961.
- 64.

64. Teriwak, Jun-ichiro, Parallel local operations for a new distance transformation of a line pattern and their applications, IEEE Transactions on SMC, SMC-9, No.10, Oct.1979.
65. Viduș I., et.al., Ingineria programării, St.Academiei RSE, București, 1985, vol.I.
66. Barfield J., Some principles of knowledge organization, IEEE Transactions on SMC, SMC-9, No.8, 1979.
67. Galles R., Comparing and combining structural models of complex systems, IEEE Transactions on SMC, SMC-9, No.9, Sept. 1979.
68. Katanabe M., Creating learning and propensity automation, IEEE Transactions on SMC, SMC-5, No.11, Nov. 1975.
69. Winston P., Inteligența artificială, St.Tehnico, București, 1981.
70. Winston P., The psychology of computer vision McGraw-Hill, N.Y., 1975.
71. Whinton J., Silicon operating systems for real-time applications, Solutions, Intel, No.6, ov./Dec. 1982.
72. Iou, K.C., Fu K.S., A syntactic approach to shape recognition using attributed grammars, IEEE Transactions on SMC, SMC-9, No.6, June 1979.
73. * * * Advanced space graphics, Computer graphics world, Aug. 1983.
74. * * * Terminal graphic, Logstek, Computer graphics world, Feb. 1983.
75. * * * Application menu, Robot ASAC, ASAA Media, 1978.
76. * * * Positioning and Tracking controls, Measurement Systems, INC., 1983.

Algebra A_{Ω}

1.1. Algebra universală, algebre de cuvinte, algebre heterogene

O algebra universală este o generalizare a structurilor algebrice clasice de subgrup, grup, corp, etc.

Definiția 1.1.1.

Fiind date mulțimile:

A - o mulțime de "obiecte"

Ω - o mulțime de operatori împărțită în clase de aritate,
 $\omega_1, \omega_2, \dots$

Algebra universală A_{Ω} este specificată de funcția β , care determină pentru fiecare $\omega \in \Omega$ o operație ω -ară peste tot definită în A^{Ω}

$$\beta \omega : A^{\Omega} \rightarrow A.$$

Subalgebra A_1_{Ω} se definește în mod analog, cu condiția ca $A_1 \subset A$ și A_1 să fie închisă la operațiile din Ω . Un exemplu de algebra universală de importanță practică în teoria limbajelor, este algebra de cuvinte peste o mulțime alfabet X .

Definiția 1.1.2.

Fiind date mulțimile:

X - o mulțime liberă de simboluri

Ω - o mulțime de operatori de aritate cel mult n .

Algebra universală construită peste mulțimea $X \cup \Omega$ conform

cu:

$$\omega(w_1, w_2, \dots, w_n) = w_1 w_2 \dots w_n \omega, \quad w_i \in (X \cup \Omega)^*$$

respectiv aritatea operatorilor $\omega \in \Omega$, se numește algebra de cuvinte liberă peste mulțimea operatorilor Ω și alfabetul X și se notează (Ω, X) .

Algebra de cuvinte (Ω, X) poate fi evaluată într-o algebra A_{Ω} extinzând funcția:

$$f : X \rightarrow A$$

la un homomorfism de algebre

$$f : S(X, \Omega) \rightarrow A$$

Obiectele din A^a și comportarea lor în A_Ω pot fi precisate cu ajutorul noțiunii de identitate formală

Definiția 3.1.3.

Fiind date:

$A_\Omega, S(X, \Omega)$ - o algebră universală și o algebră de cuvinte peste X cu același domeniu de operatori

atunci cuvintele w_1, w_2 din $S(X, \Omega)$ definesc identitatea formală,

$$w_1 = w_2$$

dacă pentru orice evaluare α lui S în A egalitatea este adevărată.

Algebra factor a algebrei $S(X, \Omega)$ prin sistemul ei complet de identități U , este o algebră liber generată de clasele de echivalență induse de U în S și se notează cu $S(S, \Omega, U)$.

Considerând algebra de cuvinte $S(X, \Omega, U)$ ca un limbaj formal, algoritmic, peste alfabetul $XU\Omega_0$, unde Ω_0 reprezintă mulțimea operațiilor nulare definind "obiecte" primitive de calcul, atunci un cuvânt $w \in S(X, \Omega)$ reprezintă un algoritm de calcul în acest limbaj.

Realizarea efectivă a procesului de calcul se face indicând o anumită interpretare - evaluare, pentru elemente primitive ale limbajului:

$$h : XU\Omega_0 \rightarrow A$$

Se poate demonstra [25], că fiind dată algebra liberă de cuvinte $S(X/U, \Omega, U)$ și interpretarea h , aceasta poate fi extinsă în mod unic la un homomorfism de algebre, $S(X/U, \Omega, U) \simeq A_\Omega$. În consecință funcția h specifică complet și unic interpretarea la nivel de algebră.

Noțiunea de algebră heterocedă generalizează noțiunea de algebră universală pentru cazul în care operatorii nu sînt peste tot definiți în A^a .

Definiția 3.1.4.

Mulțimea echedă operator o pereche $\Sigma = (I, \Omega)$ unde:

Ω - o mulțime de operatori

A - mulțimea de bază a domeniului operatorilor

I - o mulțime index peste domeniul de bază $A = (A_i)_{i \in I}$

in care sînt definite relațiile $R(i)$
 - o funcție definită prin $\alpha : \Omega \rightarrow R(i)$, care precizează pentru fiecare operator $\omega \in \Omega$, mulțimile de domeniu de valori și rezultat

$$\alpha \omega : A_{i1} \times A_{i2} \times \dots \times A_{in} \rightarrow A_j$$

Definiția A.1.5.

Familia $A = (A_i)_{i \in I}$ împreună cu operațiile heterogene:

$$\omega_{i1, i2 \dots in, i} : A_{i1} \times A_{i2} \times \dots \times A_{in} \rightarrow A_i$$

precizate de schema operator $\Sigma = (I, \Omega)$, specifică o algebră heterogenă notată prin $A = \langle (A_i)_{i \in I}, \Sigma, \alpha \rangle$.

Noțiunile matematice prezentate mai sus constituie o bază de modelare algebrică unitară a sintaxei și semanticii limbajelor de programare.

Un exemplu de algebră heterogenă de importanță în studiul limbajelor formale generate de gramatici context - liber sînt algebrele context - liber care au următoarea proprietate:

Proprietatea CF /6/.

Intr-o algebră context - liber, $\mathcal{A} = \langle (A_i)_{i \in I}, \Sigma, f \rangle$, pentru două scheme de operație distincte $\nabla_1, \nabla_2 \in \Sigma$, pentru care se utilizează același simbol (a_0, a_1, \dots, a_n) , un șir de operanzi (a_1, a_2, \dots, a_n) care aparține ambelor domenii de definiție a celor două scheme de operație verifică egalitatea:

$$f \nabla_1 (a_1, a_2, \dots, a_n) = f \nabla_2 (a_1, a_2, \dots, a_n).$$

Importanța practică a algebrelor context - liber constă în faptul că limbajele formale context - liber pot fi organizate ca algebre context - liber.

Utilizînd simbolurile de reprezentare (a_0, a_1, \dots, a_n) , ale operațiilor heterogene a algebrei cu selector de semantica pentru limbajul formal context - liber asociat, proprietatea prezentată asigură unicitatea descrierii la nivel semantic, pentru reprezentări formale diferite ale algebrei în termenii schemelor operator.

ANEXA A.2.

1. Programe de sistem

Programe utilizate pentru programarea prin instruire a robotului RAMP-2-1 pentru sudare pe rost liniar modelat în pozițiile de capăt cu segmente de dreaptă și autoinstruirea pe rost de sudare curbiliniu prin modelarea în pozițiile de capăt cu segmente de dreaptă și determinarea prin predicție liniară și aliniere adaptivă a punctelor de aproximare intermediară a rostului de sudare.

P.1.0. GENERATOR MODEL

P.1.1. EVALUARE PARAMETRI DE SUDARE CURENTA

P.1.2. DECIZIA DE MISTARE

P.1.3. COMENZI DE CUPLA CINETICĂ

Programele P.1.0 - P.1.2 au fost implementate în micro-sistemul dispozitivului grafic de instruire, iar programul P.1.3 în unitatea de comandă a robotului.

ANEXA A-3-

Robot industrial RRM-2-C, caracteristici tehnice

1. Concepție: Institutul Politehnic "Traian Vuia" și Intreprinderea "Electromotor" Timișoara.
2. Intreprinderea producătoare: Intreprinderea "Electromotor" Timișoara (din 1980)
3. Destinație și domeniu de utilizare:
 - sudare în puncte
 - sudare cu arc în mediu protector
4. Execuția constructivă a manipulatorului:
 - a) încorporat în utilaj - la sol,
 - b) modular.
5. Cărcina nominală: 12,5 kg
6. Număr trepte de libertate: 6
7. Eroarea de poziționare: 0,1 mm
8. Viteză de deplasare a dispozitivului terminal: 0,15 m/s max.
9. Tipul de acționare: electrică
10. echipament de comandă: SCANDIA 800, I&A București
 - Unitate centrală cu microprocesorul coco
 - Memorie: 8 K EPROM, 8 K RAM
 - Programe de comandă înregistrate pentru poziționare de dispozitiv terminal specificate prin coordonate de cuple cinematice
 - Viteză de avans pe axi programabile (12 biți)
11. Instruire:
 - Conducă din panoul de instruire
 - Comenzi: MANUAL/AUTO-AT, M_1^+ , M_1^- , M2PIARA
(M_1^+ , M_1^- - mișcare pe axă în sens pozitiv (negativ)).

0000				0000	* FI EVALUARE PARAMETRI DE STARE CURENTA
0000				0001	*
0000				0002	* SUB. LISTA
0000				0003	* SUBPROGRAMUL GENEREAZA LISTA DE COORD. CAPAT
0000				0004	* PERPENDICULARA IN PUNCT CURENT DE EXPLORARE
0000				0005	*
0000				0006	* ASSM.CIP LAB.CI (U.1.3)
0000				0007	DRG 1500H
1500				0008	*
1500	00			0010	LISTA NDP
1501	2A	C4	11	0020	L1 LHLD POP
1504	EB			0030	XCHG
1505	21	80	16	0080	LXI H,ALCAP
1508	22	CB	11	0090	SHLD ALCA
150E	21	30	15	0100	LXI H,DEV2P
150E	22	01	12	0110	SHLD 1201H
1511	2A	C0	11	0120	LHLD PD
1514	EB			0122	XCHG
1515	CD	03	38	0130	CALL LINE
1518	2A	C6	11	0140	L2 LHLD POP
1518	EB			0150	XCHG
151C	21	C0	16	0160	LXI H,ALCAM
151F	22	CB	11	0170	SHLD ALCA
1522	21	30	15	0180	LXI H,DEV2P
1525	22	01	12	0190	SHLD 1201H
1528	2A	C0	11	0200	LHLD PD
152B	EB			0202	XCHG
152C	CD	03	38	0210	CALL LINE
152F	D9			0220	RET
1530				0230	*
1530	EB			0240	DEV2P XCHG
1531	2A	CB	11	0250	LHLD ALCA
1534	73			0260	MOV M>E
1535	23			0270	INX H
1536	72			0280	MOV M>D
1537	23			0290	INX H
1538	22	CB	11	0300	SHLD ALCA
153E	33			0310	INX M
153C	33			0320	INX M
153D	33			0330	INX M
153E	33			0340	INX M
153F	D9			0350	RET
1540				0360	*
1540				0362	* SUBRUTINA ARIA
1540				0364	*
1540				0366	*
1540				0367	* SUBRUTINA DE EXPLORARE EFECTIVA CU PUNCT CUM
1540				0368	* PE SEGMENT SI EXPLORARE PE SEG. PERPEN. DIRM
1540				0369	* REZULTATE IN ... LISTA EXPLD.
1540				0370	*
1540				0372	*
1540				0374	* ASSM.CIP LAB.CI (U.1.3)
1540				0376	* LISTA EXPLD :1E00 (CADR.1),1F00 (CADR.2)
1540				0377	*
1540				0378	DRG 1530H
1540	2A	CB	11	0379	SCAP LHLD ALCA
1543	5E			0380	MOV E>M
1544	23			0390	INX H
1545	56			0400	MOV D>H
1546	23			0410	INX H
1547	22	CB	11	0420	SHLD ALCA
154A	EB			0430	XCHG
154E	22	CC	11	0440	SHLD EDAC

1552 7A
 1553 94
 1554 47
 1555 3A C3 11
 1558 80
 1559 32 CF 11
 155C 7B
 155D 95
 155E 47
 155F 3A C2 11
 1562 B0
 1563 32 CE 11
 1566 C9
 1567 33
 1568 33
 1569 C9
 156A
 156A 21 80 16
 156D 22 CB 11
 1570 3E 02
 1572 32 CA 11
 1575 CD 40 15
 1578 21 80 15
 157B 22 01 12
 157E AF
 157F 32 CB 11
 1582 2A CC 11
 1585 EB
 1586 2A CE 11
 1589 CD 03 38
 158C C9
 158D
 158D E5
 158E CD B6 15
 1591 47
 1592 3A CB 11
 1595 21 00 1E
 1598 EB
 1599 6F
 159A AF
 159B 67
 159C 19
 159D 78
 159E B7
 159F CA B2 15
 15A2 3E 80
 15A4 77
 15A5 3A CB 11
 15A8 3C
 15A9 B7
 15AA CA 51 16
 15AD 32 CB 11
 15B0 E1
 15B1 C9
 15B2 AF
 15B3 C3 A4 15
 15B4
 15B6 CD BF 15
 15B9 CD B0 39
 15BC 7E
 15BD A3
 15BE C9
 15BF 5C
 15C0 7D
 15C1 2F
 15C2 57
 15C3 21 00 60
 15C6 C3 7A 39
 15C9
 15C9

0470 MOV A,D
 0480 SUB H
 0490 MOV B,A
 0500 LDA PE+1
 0510 ADD B
 0520 STA PEAC+1
 0530 MOV A,E
 0540 SUB L
 0550 MOV B,A
 0560 LDA PE
 0570 ADD B
 0580 STA PEAC
 0622 RET
 0630 EAREA INX M
 0640 INX M
 0650 RET
 0660 *
 0670 INIT LXI H,ALCAP
 0680 SHLD ALCA
 0690 MVI A,2
 0700 STA TIME
 0710 CALL SCAP
 0720 LXI H,DEVAB
 0730 SHLD 1201H
 0740 XRA A
 0750 STA CONT
 0752 LHLD PDAC
 0754 XCHG
 0756 LHLD PEAC
 0760 CALL LINE
 0770 RET
 0780 *
 0790 DEVAB: PUSH H
 0792 CALL EXPLO
 0800 MOV B,A
 0810 LDA CONT
 0820 LXI H,AREAF
 0830 XCHG
 0840 MOV L,A
 0850 XRA A
 0860 MOV H,A
 0870 DAD D
 0880 MOV A,B
 0890 ORA A
 0900 JZ ZERO
 0910 MVI A,B0H
 0920 AA MOV M,A
 0930 LDA CONT
 0940 INR A
 0942 ORA A
 0944 JZ ELTH
 0950 STA CONT
 0952 POP H
 0960 RET
 0970 ZERO XRA A
 0980 JMP AA
 1000 *
 1010 EXPLO CALL SET2P
 1020 CALL 39E0H
 1030 MOV A,H
 1040 ANA E
 1050 RET
 1060 SET2P MOV E,H
 1070 MOV A,L
 1080 CHA
 1090 MOV D,A
 1100 LXI H,6000H
 1130 JMP 397AH
 1132 *
 1140 * PROCGRN PRINCIPAL AREA

15C9					1160	*
15C9	CD	6A	15		1170	AREA CALL INIT
15CC	3E	1E			1180	MVI A, MAR-2
15CE	32	CA	11		1190	STA TIME
15D1	21	82	16		1200	LXI H, ALCAP+2
15D4	22	CB	11		1210	SHLD ALCA
15D7	CD	40	15		1220	LOOP CALL SCAP
15DA	21	F9	15		1230	LXI H, DEVA
15DD	22	01	12		1240	SHLD 1201H
15E0	AF				1250	XRA A
15E1	32	CB	11		1260	STA CONT
15E4	2A	CC	11		1262	LHLD PDAC
15E7	EB				1264	XCHG
15E8	2A	CE	11		1266	LHLD PEAC
15EB	CD	03	38		1270	CALL LINE
15EE	3A	CA	11		1280	LDA TIME
15F1	3D				1290	DCR A
15F2	CB				1300	RZ
15F3	32	CA	11		1310	STA TIME
15F6	C3	07	15		1320	JMP LOOP
15F9					1330	*
15F9	CD	B6	15		1340	DEVA CALL EXPLO
15FC	47				1350	MOV B, A
15FD	22	D6	11		1360	SHLD COLB
1600	EE				1370	XCHG
1601	22	D4	11		1380	SHLD COLA
1604	3A	CB	11		1390	LDA CONT
1607	21	00	1E		1400	LXI H, AREAP
160A	EE				1410	XCHG
160E	6F				1420	MOV L, A
160C	AF				1430	XRA A
160D	67				1440	MOV H, A
160E	19				1450	DAD D
160F	3A	CB	11		1460	LDA CONT
1612	3C				1470	INR A
1613	32	CB	11		1480	STA CONT
1616	7E				1490	MOV A, M
1617	E6	40			1500	ANI 40H
1619	C2	4C	16		1510	JNZ RE
161C	7E				1520	MOV A, M
161D	17				1530	RAL
161E	DA	29	16		1540	JC TNZ
1621	78				1550	MOV A, B
1622	B7				1560	ORA A
1623	CA	2E	16		1570	JZ INR
1626	C3	34	16		1572	JMP STE
1629	78				1580	TNZ MOV A, B
162A	B7				1590	ORA A
162B	CA	34	16		1592	JZ STE
162E	7E				1610	INR MOV A, M
162F	3C				1620	INR A
1630	77				1630	MOV M, A
1631	C3	3E	16		1640	JMP RET
1634	3E	40			1650	STE MVI A, 40H
1636	B6				1660	ORA M
1637	77				1670	MOV M, A
1638	7E				1680	MOV A, M
1639	E6	40			1690	ANI 40H
163B	C2	4C	16		1700	JNZ RE
163E	2A	D4	11		1710	RET LHLD COLA
1641	EE				1720	XCHG
1642	2A	D6	11		1730	LHLD COLB
1645	3E	DF			1740	MVI A, 0DFH
1647	A4				1750	ANA H
1648	67				1760	MOV H, A
1649	CD	B0	39		1770	CALL 39B0H
164C	33				1780	RE INX M
164D	33				1790	INX M
164E	33				1800	INX M
					1810	INX M

1651			2010	PE EQU 11C2H	
1651			2020	POP EQU 11C4H	
1651			2030	POM EQU 11C6H	
1651			2040	ALCA EQU 11C8H	
1651			2050	ALCAP EQU 1680H	
1651			2060	ALCAM EQU 16C0H	
1651			2070	TIME EQU 11CAH	
1651			2080	CONT EQU 11CEH	
1651			2090	FOAC EQU 11CCH	
1651			2100	PEAC EQU 11CEH	
1651			2110	AREAP EQU 1E00H	
1651			2130	COLA EQU 11D4H	
1651			2132	COLB EQU 11D6H	
1651			2140	LINE EQU 3803H	
1651			2160	MAR EQU 20H	
1651	21	54	16	2170	ELTH LXI H,EL
1654	4C	55		2172	EL DW 'UL'
1654	4E	47		2174	DW 'GN'
1658	41	20		2176	DW 'A'
165A	0D			2178	DB 0DH
165E	CD	AD	02	2180	CALL 02ADH
165E	C3	A7	00	2190	JMP 00A7H
1661				3000	* PROGRAM 'ARIE'
1661				3002	*
1661				3004	* PROGRAM DE EXPLORARE A ZONEI E1E2E3E4 DIN J
1661				3005	* SEGMENT DEFINIT DE PUNCTELE : PO --PUNCT DE
1661				3006	* PE --PUNCT DE
1661				3007	* SUBROUTINE : POINT ...DETRM. COORD. CAPAT PE
1661				3008	* LISTC ...LISTA DE COORD. CAPETE
1661				3009	* AREA ...SUBROUTINA DE EXPLORARE
1661				3010	*
1661				3012	*
1661				3014	*
1661				3015	* ASSM.CIF LAB.CI (V.1.3)
1661				3016	* LANSARE [PO=(11C0),PE=(11C2)]
1661				3020	* REZULTAT 1E00,1F00 -PARM. DE ARIE
1661				3030	* 11CBH --LUNGIME SEGMENT
1661				3031	*
1661				3032	ORG 1380H
1380	00			3040	SAREA NOP
1381	CD	8B	14	3050	CALL POINT
1384	CD	00	15	3060	CALL LISTC
1387				3062	* EXPLOAREAZA ZONA CADRAN 1
1387	CD	C9	15	3070	CALL AREA
138A				3072	* REFETA FENTRU ZONA CADRAN 4
138A	3E	C0		3080	MVI A,0C0H
138C	32	6B	15	3090	STA A1
138F	3E	1F		3100	MVI A,1FH
1391	32	97	15	3110	STA A2
1394	CD	6A	15	3120	CALL INIT
1397	3E	80		3130	MVI A,80H
1399	32	6B	15	3140	STA A1
139C	3E	1E		3150	MVI A,1EH
139E	32	97	15	3160	STA A2
13A1	3E	1E		3170	MVI A,MAR-2
13A3	32	CA	11	3180	STA TIME
13A6	3E	1F		3190	MVI A,1FH
13A8	32	09	16	3200	STA A3
13AB	CD	D7	15	3210	CALL LOOP
13AE	3E	1E		3220	MVI A,1EH
13E0	32	09	16	3230	STA A3
13E3	C9			3240	RET
13E4				3250	A1 EQU 156BH
13E4				3260	A2 EQU 1597H
13E4				3270	A3 EQU 1609H
13E4				4000	* SUBROUTINA POINT
13E4				4010	*
13E4				4012	*
13E4				4014	* SUBROUTINA CALCULEAZA PUNCTUL DE CAPAT AL PER
13E4				4016	* CILAREI IN FUNCTIUL DE INCEPUT (DIRECTIE DE

13E4
 13E4
 13E4
 13E4
 13E4
 13E4
 13E4
 13E4
 1400
 1400 7C
 1401 92
 1402 D2 0B 14
 1405 2F
 1406 C6 01
 1408 47
 1409 7D
 140A 93
 140E D2 11 14
 140E 2F
 140F C6 01
 1411 80
 1412 C9
 1413
 1413 CD 00 14
 1416 FE 40
 1418 C9
 1419
 1419 7C
 141A CD 2A 14
 141D 7D
 141E CD 2A 14
 1421 7A
 1422 CD 2A 14
 1425 7B
 1426 CD 2A 14
 1429 C9
 142A FE 20
 142C DA 35 14
 142F FE DF
 1431 D2 35 14
 1434 C9
 1435 21 3B 14
 1438 4D 41
 143A 52 47
 143C 0D
 143D
 143D
 143D 7B
 143E E6 3F
 1440 B7
 1441 1F
 1442 B7
 1443 C6 4E 14
 1446 3D
 1447 CA 4E 14
 144A 3D
 144B C2 6A 14
 144E 3A 00 11
 1451 3C
 1452 32 00 11
 1455 C3 6A 14
 1458
 146A
 146A
 146A 3A 00 11
 146D FE 20
 146F 33
 1470 33
 1471 33
 1472 33
 1473 DR

* RESTRICTII: 1 L LMIN
 4040 * L LMIN 255-2*
 4050 * EXPLD : 2 ON MUMD +/- 20H
 4060 *
 4070 * ASSM.CIP LAB.C1 (V.1.3)
 4080 *
 4090 ORG 1400H
 4092 *
 4100 TEST MOV A,H ;EDX
 4110 SUB D
 4120 JNC \$+3
 4130 CMA
 4140 ADI 1
 4150 MOV B,A
 4160 MOV A,L
 4170 SUB E
 4180 JNC \$+3
 4190 CMA
 4200 ADI 1
 4210 ADD B
 4220 RET
 4230 *
 4240 TESTA CALL TEST
 4250 CPI LMIN
 4260 RET
 4270 *
 4280 TESTB MOV A,H
 4290 CALL COMP
 4300 MOV A,L
 4310 CALL COMP
 4320 MOV A,D
 4330 CALL COMP
 4340 MOV A,E
 4350 CALL COMP
 4360 RET
 4370 COMP CPI 0+MAR
 4380 JC ERM
 4390 CPI 0FFH+MAR
 4400 JNC ERM
 4410 RET
 4420 ERM LXI H,MA
 4430 MA DW 'AM'
 4440 DW 'GR'
 4450 DE DDH
 4460 *
 4470 * DEV COUNT STPS EX=64
 4480 DEV1 MOV A,B
 4490 ANI 3FH
 4500 ORA A
 4510 RAR
 4520 ORA A
 4530 JZ CNTXY
 4540 DCR A
 4550 JZ CNTXY
 4560 DCR A
 4570 JNZ TEX
 4580 CNTXY LDA CNTPX
 4590 INR A
 4600 STA CNTPX
 4610 JMP TEX
 4620 SPACE DS 12H
 4630 *
 4640 *
 4650 TEX LDA CNTPX
 4660 CPI MAR
 4670 INX M
 4680 INX M
 4690 INX M
 4700 INX M
 4710 RC

1476	C9			4740	RET
1477				4750	*
1477	3E	CD		4760	DEVPRE MVI A,00DH
1479	32	00	12	4770	STA 1200H
147C	21	A7	00	4780	LXI H,00A7H
147F	22	01	12	4790	SHLD 1201H
1482	3E	C9		4800	MVI A,00C9H
1484	32	03	12	4810	STA 1203H
1487	C9			4820	RET
1488				4830	* FUNCT DE INTRARE [FO>PE]
1488	2A	C2	11	4840	POINTS LHLD PE
148B	EB			4850	XCHG
148C	2A	C0	11	4860	LHLD PD
148F	CD	13	14	4870	CALL TESTA
1492	DA	CE	14	4880	JC ERR2
1495	CD	19	14	4890	CALL TESTB
1498	CD	77	14	4900	CALL DEVPRE
149B	AF			4910	XRA A
149C	32	D0	11	4920	STA CNTPX
149F	32	D1	11	4930	STA CNTPY
14A2	21	3D	14	4940	LXI H,DEVI
14A5	22	01	12	4950	SHLD 1201H
14A8	2A	C0	11	4960	LHLD PD
14AB	EB			4970	XCHG
14AC	CD	03	38	4980	CALL LINE
14AF	EB			4990	XCHG
14B0	2A	C0	11	5000	LHLD PD
14B3	7C			5010	MOV A>H
14B4	92			5020	SUB D
14B5	47			5030	MOV B>A
14B6	7D			5040	MOV A>L
14B7	B0			5050	ADD B
14B8	32	C4	11	5060	STA POP
14BB	7D			5070	MOV A>L
14BC	90			5080	SUB B
14BD	32	C6	11	5090	STA P0M
14C0	7D			5100	MOV A>L
14C1	93			5110	SUB E
14C2	4F			5120	MOV C>A
14C3	7C			5130	MOV A>H
14C4	91			5140	SUB C
14C5	32	C5	11	5150	STA POP+1
14C8	7C			5160	MOV A>H
14C9	B1			5170	ADD C
14CA	32	C7	11	5180	STA P0M+1
14CD	C9			5190	RET
14CE				5200	CNTPX EQU 11D0H
14CE				5210	CNTPY EQU 11D1H
14CE				5212	LMIN EQU 40H
14CE				5220	*
14CE	21	D4	14	5230	ERR2 LXI H,>LN
14D1	03	DD	14	5232	JMP XXX
14D4	4C	2E		5240	IN DW 'L'
14D6	53	48		5250	DW 'HS'
14D8	4F	52		5260	DW 'RO'
14DA	54	20		5270	DW 'T'
14DC	0D			5280	DB 0DH
14DD	00			5290	XXX NOP
14DE	CD	AD	02	5300	CALL D2ADH
14E1	03	A7	00	5310	JMP 00A7H

0000		0000	*	P1 GENERATOR MODEL	
0000		0010	*	-----	
0000		0020	*		
0000		0030	*	PROGRAMUL ASIATA OPERATORUL PENTRU TRASAREA PE AFISAJUL	
0000		0040	*	GRAFIC A UNEI LISTE DE SEGMENTA CA MODEL AL PORTIUNTELOR	
0000		0050	*	DE ROST DE SUDARE	
0000		0060	*		
0000		0070	*	COMENZI : < , > , U , A ,	> DEPLASARE MARKER
0000		0080	*	O ,	> MEMOREAZA SEGMENT IN LISTA
0000		0090	*	B ,	> STERGE ULTIMUL SEGMENT SI RETIA
0000		0100	*	E ,	> END LISTA MODEL
0000		0102	*	ASSM. CIP LAB.CI (V.1.3)	
0000		0110	*		
0000		0120	*	PROGRAM PRINCIPAL	
0000		0130	*	-----	
0000		0140	*		
0000		0150	*	SUBROUTINE : LEARN - AD, 3B03H	
0000		0160	*	OUT - AD, 0136H	
0000		0170	*		
0000		1000		ORG 1200H	
1200	DD 09 12	1010		INST:CALL XLDEV	
1203	21 00 40	1020		LXI H,BPG1	
1206	DD 00 12	1030		CALL CLPAG	
1209	2A 42 12	1040		LHLD DBASE	
120C	CD 03 3B	1050		CALL LEARN	
120F	26 E2 11	1060		LHLD 11E2H	
1212	00	1070		NOP	
1215	22 42 12	1080		SHLD DBASE	
1218	CD CF 12	1090		CALL GET	
121B	3D 26 13	1100		CALL DSPLY	
121E	CD 29 01	1110		AA:CALL IN	
1221	76	1120		MOV A,B	
1224	FE 45	1130		CPI 'E'	
1227	CA 02 12	1140		JZ EXIT	
122A	FE 20	1150		CPI ' '	
122D	C2 06 12	1160		JNZ ER1	
1230	FE 42	1170		CPI 'B'	
1233	DC C0 12	1180		CJ BACK	
1236	C3 83 12	1190		JMP INST+3	
1239		1210	*		
123C	21 00 1D	1220		EXIT LXI H,1D00H	
123F	C3 AF 3A	1230		JMP 3AAFH	
1242		1240	*		
1245	04 3F	1270		ER1:MVI B,'?'	
1248	CD 36 01	1280		CALL OUT	
124B	C3 9C 12	1290		JMP AA	
124E		1300	*		
1251		1310	*		
1254	2A 42 12	1320		BACK:LHLD DBASE	
1257	2B	1330		DCX H	
125A	2B	1340		DCX H	
125D	2B	1350		DCX H	
1260	2B	1360		DCX H	
1263	2B	1370		DCX H	
1266	22 42 12	1380		SHLD DBASE	
1269	C9	1390		RET	
126C		1400	*		
126F		1410	*		
1272	11 FF 1F	1420		CLPAG:LXI D,1FFFH	
1275	36 00	1430		MVI M,0	
1278	23	1440		INX H	
127B	1E	1450		DCX D	
127E	7A	1460		MOV A,D	
1281	83	1470		ORA E	
1284	C3 CF 12	1480		JNZ CLPAG+3	
1287	07	1490		RET	
		1500	*		

12DE	32	00	12	1506	STA 1200H
12DE	3E	FF		1510	HVI A:005
12E0	32	00	24	1550	STA 2400H
12E3	21	00	1D	1552	LXI H:1000H
12E6	22	42	12	1554	SHLD DBASE
12E7	3E	C0		1556	HVT A:0C0H
12EB	32	40	12	1558	STA BUF24
12EE	C9			1560	RET
12EF				1570	*
12EF				1580	*
12EF				1590	DBASE EQU 1242H
12EF				1600	LEARN EQU 3B03H
12EF				1610	IN EQU 0129H
12EF				1620	BPG1 EQU 4000H
12EF				1630	OUT EQU 0136H
12EF				1640	*
12EF				1650	*
12EF	CD	14	13	1700	GET:CALL TRANZ
12F2	3A	00	2D	1710	LDA 2000H
12F5	E6	90		1720	ANI 80H
12F7	CA	F2	12	1730	JZ GET:3
12FA	3A	40	12	1740	LDA BUF24
12FD	E6	BF		1750	ANI 0BFH
12FF	32	40	12	1760	STA BUF24
1302	32	00	24	1770	STA 2400H
1305	CD	14	13	1780	CALL TRANZ
1308	3A	40	12	1790	LDA BUF24
130B	F6	40		1800	ORI 40H
130D	32	40	12	1810	STA BUF24
1310	32	00	24	1820	STA 2400H
1313	C9			1830	RET
1314				1840	*
1314				1850	*
1314	3A	00	2D	1860	TRANZ:LDA 2000H
1317	E6	40		1870	ANI 40H
1319	CA	14	13	1880	JZ TRANZ
131C	3A	00	2D	1890	LL:LDA 2000H
131F	E6	40		1900	ANI 40H
1321	C2	1C	13	1910	JNZ LL
1324	C9			1920	RET
1325				1930	*
1325				1940	*
1325				1950	BUF24 EQU 1240H
1325				1960	*
1325				1970	*
1325	00			2000	DSPLY NOP
1326	21	00	4D	2002	LXI H:BPG1
1329	CC	CC	12	2004	CALL CLPAG
132C	CD	3C	13	2010	CALL BACK1
132F	5E			2020	MOV B:M
1330	23			2030	INX H
1331	56			2040	MOV D:M
1332	23			2050	INX H
1333	4E			2060	MOV C:M
1334	23			2070	INX H
1335	46			2080	MOV B:M
1336	C9			2090	PUSH B
1337	E1			2100	POP H
1338	CD	03	38	2110	CALL LINE
133B	C9			2120	RET
133C				2124	LINE EQU 3903H
133C				2130	*
133C	2A	42	12	2140	BACK1 LHLD DBASE
133F	23			2150	DCX H
1340	2D			2160	DCX H
1341	2E			2170	DCX H
1342	2E			2180	DCX H
1343	2D			2190	DCX H
1344	C9			2200	RET

ASS: 0

```
0000 0900 * P1 SECȚIE DE MIȘCARE
0000 0910 * -----
0000 0920 * PROGRAMUL IMPLEMENTEAZĂ ALGORITMUL DE ALINIERE LA POZIȚIA ACTUALĂ
0000 0930 * A ROSTULUI DE SUDARE.
0000 0940 * DESCRIERE DE FUNCȚIONARE:
0000 0950 *   PROCEDURE ALGORITHM OF ALINIERE
0000 0960 *   WHILE ( T(L,R,W) < TPRAC ) DO
0000 0970 *     BEGIN CALL "EVALUARE PARAMETRILOR DE STARE CURENȚĂ"
0000 0980 *       CALL "COMENȚII DE MIȘCARE "
0000 0990 *     END
0000 0992 *
0000 0994 * SUBROUTINE DE CONVERȘIE CU UNITATEA DE COMANDĂ A ROSTULUI
0000 0996 * -----
0000 0998 *
0000 0999 * ASSEM. CIP LAB.CI (V1.1.9)
1000 0A00 ORD 1A00H
1008 HSEH LDA 2000H
1010 ANI 1
1020 JZ HSEH
1030 RVI D+1
1040 CALL OLY
1050 LDA 2000H
1060 ANI 1
1070 JZ HSEH
1080 LDA 2000H
1090 RET
1100 *
1110 HSAB LDA COMM
1120 CALL SEND
1130 LXI H,25505
1140 LOUP CALL THS
1150 DCX H
1160 MOV A,H
1170 ORA L
1180 JNZ LOUP
1190 RVI B,'?'
119A CALL OUT
119C JMP 00A7H
119E RET
1200 *
1210 THS:LDA 2000H
1220 ANI 1
1230 RNZ
1240 LDA 2000H
1250 ANI 1
1260 RNZ
1270 INX M
1280 INX M
1290 RVI B,'!'
1300 CALL OUT
1310 RET
1320 *
1330 SEND ORI 08H
1340 STA 2000H
1350 RVI A,0FF0H
1360 STA 2400H
1370 RVI A,0FF0H
1380 STA 2800H
```


1AD3 21 00 08	2462 CALL DPYOR
1AD5 20 A0 1A	2470 CALL CLYMG
1AD6 00 00 12	2472 CALL DPYON
1AD8 00 A0 1A	2480 CALL GET
1AD9 00 00 12	2490 CALL PUT
1AD9 00 B2 1A	2492 MVI B,80H
1ADD 00 00 1A	2494 CALL GET
1ADF 00	2496 CALL PUT
1AE0	2500 RET
1AE0 2A 02 11	2510 *
1AE3 00	2520 PUTMMLD PE
1AE4 2A 00 11	2530 XCHL
1AE7 00 00 08	2540 MLD PD
1AEA 00	2550 CALL LINE
1AEB	2560 RET
1AEB 00 A9 1A	2570 *
1AEE 00 00 18	2580 COMP CALL DPYOR
1AF1 00 00	2590 CALL AREA
1AF3 00 00 12	2600 MVI A,80FH
1AF6 00 00 18	2610 STA 1200H
1AF9 00 A0 1A	2620 CALL COMP1
1AFC 00	2630 CALL DPYON
1AFD	2640 RET
1B00 00 00	2650 *
1B02 00 00	2660 ORG 1B00H
1B02 02 24 12	2670 TESTI:MVI A,0
1B05 0A 22 12	2680 STA CONW
1B08 0A 02	2690 LDA ADJW
1B0A 00 10 10	2700 ANI 2
1B10 00 00 18	2710 ORG 2+7
1B13 00	2720 CALL TESTT
1B14 00 10 10	2730 CALL TESTL
1B17 00 50 18	2740 RET
1B1A 00	2750 CALL TESTT
1B1B	2760 CALL TESTR
1B1C	2770 RET
1B1D	2780 *
1B1E 0A 00 12	2790 TESTI:LDA PTRAN
1B1E 0E 04	2800 CPI THRS
1B20 0A 20 18	2810 OR MVI
1B23 0A 24 12	2820 SETR:LDA CONW
1B26 0A 24	2830 ORI 7FH
1B29 02 24 12	2840 STA CONW
1B2C 00	2850 RET
1B2D 0A 00 12	2860 SETR:LDA PTRAN
1B2F 0E 0C	2870 CPI THRS
1B31 0A	2880 OR
1B33 0A 24 12	2890 LDA CONW
1B36 0A 14	2900 ORI 1FH
1B39 02 24 12	2910 STA CONW
1B3A 00	2920 RET
1B3B	2930 *
1B3C 0A 00 12	2940 TESTI:LDA PLONG
1B3E 0E 20	2950 CPI 7FH
1B40 0E 04	2960 CPI THLC
1B42 0E 46 18	2970 JF 0+1
1B45 00	2980 RET
1B47 0A 02 12	2990 LDA PLONG
1B49 0A 00	3000 ANI 0FH
1B4B 00 00 18	3010 ORG 1+7
1B4E 0A 00 12	3020 LDA CONW
1B51 0A 00	3030 ORI 0FH
1B53 02 00 12	3040 STA CONW
1B56 00	3050 RET
1B57 0A 24 12	3060 LDA CONW
1B5A 0A 12	3070 ORI 1FH
1B5C 02 24 12	3080 STA CONW
1B5F 00	3090 RET

1865	01	21	12	3135	ORLIV LDR WDRH
1866	F0	21		3150	ORI 31K
1868	3C	21	12	3160	STA COMM
1870	0F			3170	RET
1871	3A	21	12	3180	SROP LOA PROT
1873	FE	FE		3190	OPI TRKLI
1876	F0			3200	RF
1877	3A	21	12	3210	LOA COMM
187A	F0	11		3220	ORI 11H
187C	32	21	12	3230	STA COMM
187F	0F			3240	RET
1880				3250	*
1881				3260	ORU 18A0H
18A0	3A	20	12	3270	DECD LDA ADJF
18A3	B7			3280	ORA A
18A4	0C	B6	1B	3290	OI STAF
18A7	3C			3300	INR A
18AB	B2	20	12	3310	SPR ADDET
18AD	04	81	1B	3320	JZ ERI
18B1	0F			3330	RET
18B1	3E	40		3340	ERI MVI A 'L'
18B3	C3	47	00	3350	JMP 80A7H
18B6				3370	*
18C6				3380	LIMIT EQU 20H
18B6				3390	*
18B6	AF			3400	STAF XRA A
18C7	32	20	12	3410	STA ADJF
18B4	3A	22	12	3420	LDA ADJW
18C0	E6	02		3430	AND 2
18E7	04	06	1B	3440	JZ NREC
18C2	0D	0A	1B	3450	REC CALL 804E
18C5	0F			3460	RET
18C6	0D	00	1B	3470	NREC CALL 8PAR
18C7	0F			3480	RET
18C6				3490	*
18C6	2A	02	11	3500	DOUBLE LHLD PE
18CD	EB			3510	XCHC
18CE	2A	00	11	3520	LHLD PD
18D1	7F			3530	MOV A+B
18D2	7E			3540	AND L
18D0	8F			3550	MOV L+A
18D4	7A			3560	MOV A+B
18D5	9C			3570	SBC H
18D6	87			3580	MOV H+A
18D7	7F			3590	DAD D
18D8	22	02	11	3600	SHLD PE
18D8	0F			3610	HCT
18D6				3620	*
18D6	26	26	12	3630	SPAR LHLD PDL
18D7	0E	F9	1B	3640	CALL LDAD
18E2	EB			3650	XCHC
18E3	E	08	11	3660	SHLD PD
18E6	EB			3670	XCHC
18E7	0D	F9	1B	3680	CALL LDAD
18E4	EB			3690	XCHC
18E5	22	02	11	3700	SHLD PE
18E6	EB			3710	XCHC
18E7	7E			3720	MOV A+B
18F0	23			3730	INR H
18F1	B7			3740	ORA A
18F2	0C	FE	1B	3750	JNZ SRC
18F3	22	26	12	3760	SHLD PDL
18F0	0F			3770	RET
18F7				3775	*
18F9	3E			3780	LOAL MOV E+M
18FA	23			3790	INR H
18FE	3C			3800	MOV D+M
187	23			3810	INR H
				3820	

1000 CA AF 00
 1004
 1008
 1010 CA 24 12
 1012 CA 07
 1016 CA 06 10
 1020 E6 01
 1024 CA 44 10
 1028 CA 24 12
 1030 EA 31
 1034 CA 15 1A
 1038 CA 34 12
 1042 E7
 1046 CD 02 10
 1050 CD 02 1A
 1054 AF
 1058 CD 4A 1A
 1062 CA 24 12
 1066 EA 34
 1070 CA 01 10
 1074 CA 24 12
 1078 CD 10 1A
 1082 CA 06 12
 1086 E7
 1090 CD 02 10
 1094 CD 02 1A
 1098 AF
 1102 CD 4A 1A
 1106
 1110 CA 02 12
 1114 CA 02
 1118 CD 02 10
 1122 CD 01 1A
 1126 AF
 1130 CD 10 1A
 1134 AF
 1138 CD 02 12
 1142 CA 20 12
 1146 CA 32
 1150 CA 02 AF 10
 1154 AF
 1158 CD 10 1A
 1162 AF
 1166 CD 02 12
 1170 CD
 1174 CD 01
 1178 CD 10 1A
 1182 AF

3874
 3878 *
 3882
 3886 LRG 1020H
 3890 DRIVE LDA CONW
 3894 ANI 37H
 3898 JZ 02AD
 3902 ANI 1
 3906 JZ E1
 3910 LDA CONW
 3914 ANI 31H
 3918 CALL HSAD+3
 3922 LDA PRST
 3926 MOV D+A
 3930 CALL 3X
 3934 CALL DLY
 3938 NOP
 3942 XRA A
 3946 CALL SEND+1
 3950 EI LDA CONW
 4000 ANI 2
 4004 JZ E2
 4008 LDA CONW
 4012 ANI 52H
 4016 CALL HSAD+3
 4020 LHS PLONG
 4024 MOV D+A
 4028 CALL 3X
 4032 CALL DLY
 4036 NOP
 4040 XRA A
 4044 CALL SEND+2
 4048 EI LDA CONW
 4052 ANI 7
 4056 L2 CD
 4060 LDA CONW
 4064 ANI 74H
 4068 CALL HSAD+3
 4072 LDA PRST
 4076 MOV D+A
 4080 CALL 3X
 4084 CALL DLY
 4088 XRA A
 4092 CALL SEND+2
 4096 EI RET
 4100 CD 01 1
 4104 *
 4108 XERO LDA ADJM
 4112 ANI 7
 4116 JMI 0007
 4120 MVI A+1
 4124 CALL HSAD+3
 4128 XRA A
 4132 STA ADJ
 4136 RET
 4140 XERO CALL COMPI
 4144 CALL TESTL
 4148 LDA FOREC
 4152 ANI 3
 4156 JMI 000EM
 4160 XRA A
 4164 CALL HSAD+3
 4168 XRA A
 4172 STA ADJ
 4176 RLI
 4180 *
 4184 XERO MVI A+1
 4188 CALL HSAD+3
 4192 LDA

1000	EA 01 10	4000	LD 000
1001	76	4001	MOV A,0
1002	8F	4002	CMA
1003	57	4003	MOV D,A
1004	09	4004	RET
1005		4005	*
1006	50 00	4006	DAL ANI 00H
1007	DA 00 10	4007	JR 1-1
1008	7A	4008	MOV A,0
1009	E6 7F	4009	ANI 7FH
100A	57	400A	MOV D,A
100B	09	400B	RET
100C		400C	*
100D		400D	ORG 1000H
100E	E6 90	100E	SXX ANI 00H
100F	DA 00 10	100F	JR 1-1
1010	7A	1010	MOV A,0
1011	8F	1011	CMA
1012	57	1012	MOV D,A
1013	AF	1013	XRA A
1014	7A	1014	MOV A,0
1015	1F	1015	RAR
1016	09	1016	MOV D,A
1017	07	1017	RET
1018	09	1018	RET

0000 * P1 COMENZI DE MISCARE MOTOARE DE CUPLE CINEMATICE

```

3002 * .....
3003 * PROGRAM IMPLEMENTAT PE UNITATEA DE COMANDA A ROBOTULUI
3004 * PROGRAMUL CONCRETIZEAZA FUNCTIILE:
3005 *     - PRELVARE PARAMETRI DE MISCARE DE LA DISPOZITIVUL
3006 *     GRAFIC DE INSTRUIRE ;
3007 *     - CALCULUL VALORILOR VARIABILELOR DE SUBROUTINE DE
3008 *     MISCARE PENTRU SUBROUTINELE IMPLEVENTOTE CONSTRUCTIV;
3009 *     - PORNIRE SI OPRIRE MOTOARE PE DURATE INDICATE CA
3010 *     PARAMETRI DE DISP. DE INSTRUIRE (VITEZA = CONSTANTA);
3011 *     - REACTUALIZARE COORDONATE DE TINTA LA CONFIRMARE
3012 *     ALINIERE DE CATRE DISP. DE INSTRUIRE.
3013 *
3014 * ASSM. CIF LAE.CI (V1.1.3)
3015 *
3016 * " " PUNCT DE LANSARE FARA ALINIERE
3017   ORG 1A0EH
3018   CE0E JMP NEXEC
3019 *
3020 * "4" PUNCT DE LANSARE CU ALINIERE
3021   ORG 1A0AH
3022   CE0A JMP EXEC
3023 *
3024   ORG 1A12H
3030   EXEC NOP
3040   LXI H,0A0CDH
3050   SHLD 1700H
3060   LXI H,0C91AH
3062   SHLD 1702H
3063   JMP A5
3064 *
3070   NEXEC NOP
3072   MVI A,0C9H
3073   STA 1700H
3074 *
3075 * PROGRAM PRINCIPAL DE COMANDA CUPLE CINEMATICE
3076 * .....
3077 *
3078   AA MVI A,29H           ; INIT. LISTA DE COORDONATE
3079   STA 0501H
3080   CALL READT           ; CITESTE TRAD. DE POZITIE
3090   LXI H,PBASE
3092   SHLD CINST
3100   LB CALL LOADP       ; CITESTE DIN LISTA TINTA INVATATA
3110   CALL XN1           ; VERIFICA CONCORDANTA
3120   CALL SETDV        ; PROG. VITEZE PE AXE
3122   CALL SET
3130   CALL CO           ; COMANDA EXECUTIE
3140   CALL CSTOP
3150   CALL DEV
3160   CALL TESTE        ; VERIFICA TERMINRE LISTA DE ALINIERE
3170   JNZ EXIT
3180   LHLD CINST
3190   LXI D,0010H
3200   DAD D
3220   EXMP MVI A,'D'
3240   JMP STOP
3250 *
3300   CO LDA MOT5
3312   MOV B,A
3314   ANI 0FH

```

```

3324 ANI 0FDH
3326 ORI 20H
3328 BB STA MOTOR
3329 STA MOTSL
3330 RET
3340 *
3350 TESTE LDA ENDS
3360 ANI 80H
3370 RET
3374 *
3375 XMI LDA 1700H
3376 CPI 0CDH
3377 RZ
3380 LDA 1F2DH
3382 ANI 01H
3384 RZ
3386 INX M
3387 INX M
3388 JMP L3
3400 * PROGRAM DE INTERFATA DISP. DE INSTRUIRE
3402 * -----
3404 *
3406 * CONVERSATIE PRIN PORTURI PARALELE OUT/IN = 04/02
3408 *   - D0 D1 D2 D3 D4 D5 D6 D7
3410 *       S1 S2 S3           M6 M5 M1
3411 *           HS/-- ADJ/COINCIDENTA
3420 *ORG 1AA0H
3430 ADJ LDA ENDS
3440 ANI YESA
3450 JZ RETUR
3460 LDA ENDS
3470 ANI CREC
3480 JZ AD1
3490 JMP ADR
3500 RETUR RET
3510 *
3520 * TECH ON CALL A=R/NR +HS
3530 TECH STA HSS
3540 LDA HSS
3550 CALL HS
3560 CALL DECODE
3570 JNZ TECH+3
3580 RET
3582 *
3590 HS OUT LBO
3600 IN LBI
3610 ANI 08H
3620 JZ HS+2
3622 MVI A, 02H
3624 JMP CONT
3626 CONT IN LBI
3627 JZ HS+2
3630 IN LBI
3640 STA ADJW
3650 ANI 00H
3660 OUT LEO
3664 RET
3668 *
3670 DLY CALL DY
3671 DCR A
3672 JNZ DLY
3673 RET
3674 DY MVI B, 0FFH
3675 DCR B
3676 RZ
3677 JMP DY+2
3680 *
3690 DECODE LDA ADJW ; SUB. DECODIFICARE COMANDA
3700 ANI 10H

```

```

3720 ANI 01H
3730 JZ ING
3750 JMP REMEM
3770 *
3780 AJSED LDA ADJW
3790 ANI 07H
3800 JNZ EC+5
3810 EC MVI A,'?'
3820 JMP STOP
3822 MVI A,00H
3824 STA 1F01H
3825 LXI H,1F70H
3826 LXI D,1F10H
3827 MVI B,20H
3828 CALL LBLOC
3830 LDA ADJW
3832 * SUB. COMANDA DE MISCARE C1 (LONGITUDINAL)
3834 *
3840 ANI 02H
3850 CNZ MLONG
3860 LDA ADJW
3870 ANI 04H
3880 CNZ MTRAN
3890 LDA ADJW
3900 ANI 01H
3910 CNZ MROT
3920 JMP DO
3930 MLON
      G CALL SEMN
3950 CALL TESTL
3960 CALL PRET
3970 CALL VSET1
3980 RET
3990 *
3992 * SUB. COMANDA DE MISCARE C2 (TRANSVERSAL )
3994 *
4000 MTRAN CALL SEMN
4010 CALL TESTL
4020 CALL PRET
4030 LHLD 1F32H
4040 CALL REVU
4050 XCHG
4060 LHLD 1F38H
4070 XCHG
4080 SHLD 1F38H
4090 XCHG
4100 SHLD 1F32H
4110 CALL VSET2
4120 RET
4130 *
4132 * SUB. COMANDA DE MISCARE C3 (ROTATIE )
4140 MROT CALL VSET3
4150 MVI A,20H
4160 STA 1F01H
4170 RET
4180 *
4182 ORG 1EA0H
4190 VSET1 LDA 1F01H
4200 ANI 30H
4210 LHLD 1F32H
4220 CZ REVU
4230 MVI A,00H
4240 STA 800AH
4250 SHLD 8008H
4260 LDA 1F01H
4270 ANI 30H
4280 LHLD 1F38H
4290 CZ REVU
4300 MVI A,03H
4310 STA 8004H

```



```

4342 ORG 1B97H
4350 VSET3 MVI A,05H
4360 STA 800AH
4370 LDA ADJW
4380 ANI 20H
4390 JNZ 447
4400 LXI H,0780H
4410 SHLD 8008H
4420 RET
4430 LXI ,0B7FH
4440 SHLD 8008H
4450 RET
4460 *
4470 VSET2 LDA 1F01H
4480 ANI 80H
4490 RRC
4500 MOV D,A
4510 LDA 1F01H
4520 ANI 0BFH
4530 ORA D
4532 STA 1F01H
4540 CALL VSET1
4550 RET
4560 *
4570 REVV MOV A,H
4580 CMA
4590 ANI 0FH
4600 MOV H,A
4610 MOV A,L
4620 CMA24630 MOV L,A
4640 RET
4642 *
4650 SEMN LXI H,0B00H
4660 SHLD VIT
4670 SHLD V4T
4680 LDA 1F83H
4690 MOV D,A
4700 ANI 80H
4710 JZ 4718
4720 MVI A,00H
4730 STA VIT+1
4732 MOV A,D
4734 CMA
4736 ANI 80H
4738 MOV D,A
4740 LDA 1F89H
4750 MOV E,A
4760 ANI 80H
4770 JZ EX
4780 MVI A,00H
4790 STA V4T+1
4792 MOV A,E
4794 CMA
4796 ANI 80H
4798 MOV E,A
4800 EX LDA ADJW
4810 ANI 0C0H
4820 STA 1F01H
4830 RET
4840 *
4850 TESTL MOV A,D
4860 ANI 70H
4870 JNZ EL
4880 MOV A,E
4890 ANI 70H
4900 RZ
4910 EL MVI A,'L'
4920 JMP STOP

```