

SECTIUNEA 1

RAPORTUL STIINTIFIC SI TEHNIC (RST)

FAZA DE EXECUTIE - 2007

TITLUL PROIECTULUI: *Tehnici bazate pe tehnologia informatiei si comunicarii pentru controlul dimensional adaptiv/inteligent al unei noi generatii de sisteme de manufacturare reconfigurabile*

- RST – raport stiintific si tehnic in extenso***
- PVAI – proces verbal de avizare interna**

* pentru modulul 3 se va utiliza modelul din Anexa 1

**forma si continutul se stabilesc de catre conducatorul proiectului, tinand seama de cele continute in PVAI

Raportul stiintific si tehnic

1. Indicatorii sintetici de activitate

Indicatorii de realizare a fazei Anexa 3 - RST

2. Denumirea indicatorilor	3. Numar	
	4. Planificat	5. Realizat
• organizatii si respectiv numar de personal de cercetare implicate in proiect	1	1
o tipuri de organizatii; INCD,U.P., SC, Univ.	Univ.	Univ.
o nr. cercetatori/ proiect/ module	3	2
• sisteme, structuri, procese, metode, mecanisme implementate/ aplicate (pe categorii)	-	9
o produse/ tehnologii/ servicii noi realizate	-	9
o produse/ tehnologii/ servicii modernizate	-	-
o produse/ tehnologii/ servicii noi realizate in cadrul programului, aliniate la standardele internationale	-	-
• produse/ tehnologii/ servicii certificate	-	-
• agenti economici angrenati in parteneriate	-	-
• platforme tehnologice integrate dezvoltate la nivelul programului	-	-
• valoarea dotarilor noi pe program	16.472,60	17.308,11
• brevete de inventie propuse/ acceptate	-	9
• articole/ carti publicate	-	13/1
o <i>Carti tehnice</i>	-	1
o <i>Cataloage</i>	-	-
o <i>Dicționare</i>	-	-
o <i>Pliante</i>	-	-
o <i>Postere</i>	-	-
o <i>Standard European</i>	-	-
o <i>Standard Internațional</i>	-	1
o <i>Standard național</i>	-	-
o <i>Documentații</i>	-	-
o <i>Studii</i>	-	-
- <i>Studii de piața</i>	-	-
- <i>Studii de fezabilitate</i>	-	-
o <i>Caiet de sarcini</i>	-	-
o <i>Concepte</i>	-	-
o <i>Metode</i>	5	7
o <i>Ghiduri</i>	-	-
o <i>Proceduri</i>	-	-

○ <i>Manual de utilizare</i>	-	-
○ <i>Rapoarte de verificare/testare</i>	-	-
○ <i>Proiecte/ Desene de execuție modele, instalație pilot , prototip</i>	-	1
○ <i>Planuri de afaceri</i>	-	-
• comunicari stiintifice	-	1
• organisme ale infrastructurii de evaluare a conformitatii dezvoltate in cadrul programului:	-	-
○ laboratoare de incercari	-	-
○ laboratoare de etalonare	-	-
○ organisme de certificare	-	-
• organisme de evaluare a conformitatii care isi desfasoara activitatea in domeniile reglementate prin directivele Uniunii Europene, din care:	-	-
○ produse industriale care intra sub incidenta marcajului CE;	-	-
○ produse agro- alimentare.	-	-
○ nr. de specialisti formati/instruiti pentru evaluarea conformitatii;	-	-
• programe postdoctorale create la nivel national		
• cercetatori romani avand titlul de doctori in stiinte obtinut in strainatate sau stagii postdoctorale efectuate in strainatate reveniti in tara si angajati in unitati de cercetare	-	-
• specialisti formati/ instruiti in managementul si administratia cercetarii	-	3
• manifestari stiintifice sau promotionale cu participare internationala reprezentative;	-	-
• vizite de lucru si stagii de lunga durata ale unor personalitati stiintifice din strainatate;	-	-
• propuneri de proiecte transmise la programe internationale;	-	2
• propuneri de proiecte internationale aprobate;	-	-
• platforme tehnologice integrate in platforme tehnologice europene.	-	-
• parteneriate nou create	-	1
• <i>Software</i>	-	9
• <i>Baze de date</i>	-	-
• <i>Pagini web</i>	-	1
• <i>Consultanta, Asistenta tehnica</i>	-	4
• <i>Cursuri de pregatire organizate</i>		
<i>Constructii institutionale si formare continua:</i>	-	6
• <i>linii de invatamant</i>	-	-
• <i>programe de masterat</i>	-	-
• <i>formare continua</i>	-	2
• <i>Pregatire post doctorala</i>	-	-
• <i>Pregatire manageriala</i>	-	-
• <i>Formarea de personal specializat</i>	-	-

2. Raportul stiintific si tehnic **in extenso**

Cuprins

1. Obiectivul general.....	5
2. Obiectivele specifice. Activitati desfasurate.....	6
3. Rezultate obtinute..	6
3.1. Sinteza rezultatelor.....	6
3.2 Lista rezultatelor obtinute ca urmare a activitatilor din proiect.....	7
4. Rezumat	12
5. Descriere stiintifica si tehnica.....	16
5.1. Premisele stiintifice si tehnice	16
5.2. Ideile cheie considerate. Tehnici de control dimensional adaptiv/inteligent dezvoltate.....	17
5.3. Activitati stiintifice si alte activitati intreprinse pentru atingerea obiectivului.	22
6. Concluzii.....	50
7. Bibliografie.....	51

1. Obiectivul general

Proiectul are ca scop *conducerea dimensională adaptiv inteligentă astfel încât abaterile dimensionale generate de erorile sistemului de manufacturare sau de efectul câmpului termomecanic generat de proces să fie compensate on-line fără intervenția operatorului și în mod specific pentru fiecare exemplar în parte.*

Proiectul urmărește transformarea informațiilor în cunoștințe și utilizarea directă a acestora în conducerea dimensională a procesului de manufacturare, lucru prin care se va distinge noua generație de RMS.

Relația între realitate și modelul folosit pentru descrierea acesteia este redată în figura 1.

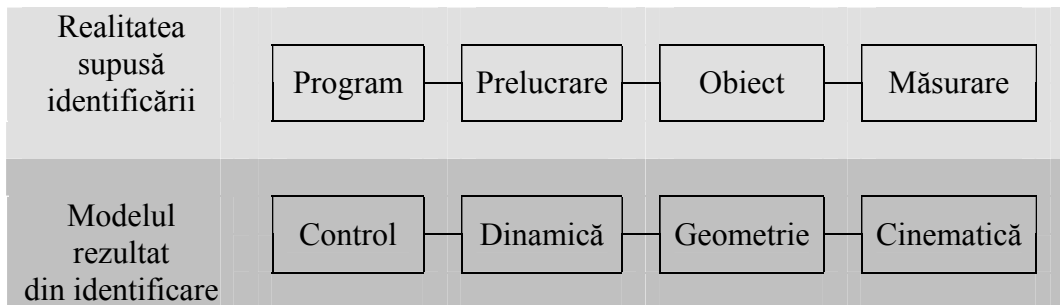


Fig. 1. Relația realitate-model

În cadrul prezentului proiect este tratată problematica sistemelor adaptiv/inteligente de control dimensional. Caracterul *adaptiv* al unui sistem este dat de identificarea on-line a acestuia. Caracterul *inteligent* este determinat de modelarea (de tip optimal) a bazei de date. În plus aceste sisteme au caracter predictiv, care este dat de prelucrarea virtuală a piesei.

Conducerea sistemelor de prelucrare reconfigurabile este abordată în mod *holistic*, datorită faptului că se tratează relațiile dintre geometrie, cinematică și dinamică, pe de o parte, și întreg ansamblul mașină-proces-sistem de măsurare, pe de alta parte.

Abordarea holistică se bazează pe conceptul de *structură topologică*, ce are *descriere parametrică multiplă*.

O structură topologică se definește ca fiind un ansamblu de elemente geometrice (și cinematice) între care există o relație de interdependență. O structură topologică are următoarele trei componente:

a). O familie de suprafețe ale piesei (cu modelele lor matematice și parametrii acestor modele, care le reprezintă), toleranțele geometrice ale acestora prin care se descrie / asigură geometria uneia dintre joncțiunile piesei cu construcția mecanică în care piesa funcționează.

b). Un grup de curbe format din profilurile generatoare ale sculei și traiectoriile posibile ale mișcărilor relative dintre scule și piesă, prin care se descrie / asigură cinematica procesului de generare a familiei de suprafețe.

c). Un nor de puncte format de poziția centrului geometric al unui palpator în timpul procesului de măsurare a piesei reale. Acest nor de puncte se va afla pe o echidistanță față de spațiul topologic luat în discuție. Parametrii acestei componente vor fi reprezentați de elementele geometrice ale instrumentului de măsură.

2. Obiectivele specifice. Activități desfășurate

Obiectivele specifice din aceasta etapa sunt următoarele:

1. Validarea experimentală a tehnicilor dezvoltate, prin realizarea în condiții de laborator a unui sistem de control dimensional adaptiv inteligent, specific RMS-urilor
2. Conceperea unui sistem adaptiv inteligent de control dimensional al noii generații de RMS-uri, care să integreze tehnicile dezvoltate

Activitățile desfășurate în cursul anului 2007 sunt următoarele:

1. Validarea experimentală a tehnicii de identificare on-line a geometriei și cinematicii;
2. Conceperea și proiectarea unui sistem adaptiv inteligent și control dimensional al noii generații de RMS-uri;
3. Realizarea experimentală a sistemului

3. Rezultate obținute

3.1. Sinteza rezultatelor

- Lucrări publicate sau în curs de recenzie în vederea publicării în reviste de specialitate sau volumele unor manifestări științifice din România, Grecia, SUA sau R. Moldova 13
- Dintre acestea, în publicații indexate ISI / BDI..... 8
- Editare publicație serie tematică
Analele Universității “Dunărea de Jos” Galați
dedicată ariei științifice a proiectului..... 1
- Propuneri de proiecte la programele de cercetare științifică europene..... 2
- Cursuri universitare dezvoltate pe tematica proiectului 4
- Monografii pe tematica proiectului 1
- Invenții realizate ca urmare a activităților din proiect..... 9
- Propuneri de standarde internaționale..... 1
- Teze de doctorat în domeniul proiectului 5
- Prototipuri..... 1

➤ Parteneriate nou create.....	1
➤ Produse software realizate ca urmare a activitatilor din proiect.....	9
➤ Programe de formare continua	2
➤ Consultanta intreprinderi industriale	4
➤ Produse si tehnologii noi realizate urmare a activitatilor din proiect.....	9
➤ Dintre acestea, implementate in industrie.....	3
➤ Efecte multiplicatoare.....	1

3.2. Lista rezultatelor obtinute ca urmare a activitatilor din proiect

A. Lucrari stiintifice

1. Cuzmin C., Teodor V., Oancea N., Marinescu V., Epureanu A., ***Dimensional dynamics identification of reconfigurable machine tools.*** Proceedings of WSEAS European Computing Conference, Athens, GREECE, September 25-27, 2007 (indexata ISI)
2. Epureanu A., Teodor V., Oancea N., Banu M., Marinescu V., ***Method for On-Line Identification of Reconfigurable Machine-Tool Geometry Based on a Topological Neural Approach,*** Journal of Manufacturing Science and Engineering (trimisă spre publicare) (indexata ISI)
3. Epureanu, Al., Teodor, V., Dima, M., Oancea, N., ***A Reconfigured Rack-Tool for Generation of Gears,*** International Journal of Advanced Manufacturing Technology, transmisă spre evaluare; (indexata ISI)
4. Teodor V., Epureanu A., Cuzmin C., ***Method for Identification of Geometric Feature Family Based on Genetic Algorithm and Neural Approach*** Proceedeings of WSEAS EUROPEAN COMPUTING CONFERENCE, Athens, Greece, September 25-27, 2007 (indexata ISI)
5. Cuzmin C., Frumusanu G., Marin F.B., Paunoiu V., Cuzmin G., Epureanu A., ***Adaptive Dimensional Control System for Reconfigurable Machine-Tools.***, Vol. 1, Universitatea Tehnică a Moldovei, ISBN 978-9975-45-035-1, TCMR International Conference, Chisinau, 2007
6. Constantin I., Marinescu V., Epureanu A., Cuzmin C., Marin F. B., ***A modular manufacturing control system,*** TCMR International Conference, Chisinau, 2007, ISBN 978-9975-45-035-5, pag. 301-306
7. Marin F. B., Constantin I. C., Marinescu V., Cuzmin C., Epureanu A., ***Development of reconfigurable software module for CNC machine tools,*** TCMR International Conference, Chisinau, 2007, ISBN 978-9975-45-035-5, pag. 265-269
8. George C. BALAN, Alexandru EPUREANU, Ciprian CUZMIN, ***The monitoring of a lathe using an artificial neural network- 5th part (recordings spectral analysis,***

- use of ANN on monitoring of the tool wear*, SISOM 2007 and Homagial Session of the Commission of Acoustics, Bucharest 29-31 May
9. George C. BALAN, Alexandru EPUREANU, Ciprian CUZMIN, *The monitoring of a lathe using an artificial network – 6th part (statistics, monitoring, fuzzy C-means methos)*, SISOM 2007 and Homagial Session of the Commission of Acoustics, Bucharest 29-31 May
 10. Cuzmin, C., Cuzmin, G., Epureanu, Al., *Internal Gear Cutting Generation with Toroidal Hob*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, transmisă spre evaluare; (indexata ISI)
 11. Epureanu, A., Teodor V., Cuzmin, C., *Identificarea suprafețelor utilizând metoda “soluției de start”*, În: Număr tematic special al publicației Analele Universității „Dunărea de Jos” din Galați, Fasc. V, anul XIX (XXIV), 57, 2007, ISSN 1221-4566, pag. 77, (indexata BDI);
 12. Epureanu, A., Teodor V., Cuzmin, C., *Identificarea seturilor de suprafețe utilizând algoritmi genetici*, În: Număr tematic special al publicației Analele Universității „Dunărea de Jos” din Galați, Fasc. V, anul XIX (XXIV), 57, 2007, ISSN 1221-4566, pag. 83, (indexata BDI);
 13. Epureanu, A., Teodor V., Cuzmin, C., *Identificarea armonică a geometriei unei mașini-unelte*, În: Număr tematic special al publicației Analele Universității „Dunărea de Jos” din Galați, Fasc. V, anul XIX (XXIV), 57, 2007, ISSN 1221-4566, pag. 89, (indexata BDI);

B. Elaborare monografii

1. Epureanu A., Marinescu V., Oancea N., Banu M., Teodor V., Cuzmin C., Marin F.B., Constantin I., *Reconfigurable machining systems control*, Denbridge Press publishing house, SUA,(210 pagini), 2007, in curs de publicare.

C. Inventii

1. Epureanu A., Marinescu V., Ghita E., Oancea N., Teodor V., Banu M., *Robot reconfigurabil de masurare* - Dosar Nr. A 00627/06.09.2007
2. Epureanu A., Dima M., Teodor V., Eugen G., Oancea N., *Dispozitiv pentru realizarea arborilor poliformi cu aplicatie la masinile reconfigurabile*- Dosar Nr. A 00575/13.08.2007
3. Cuzmin C., Epureanu A, Banu M., Teodor V., Marinescu V., Marin F. B., *Metoda si echipament de conducere dimensionala bazata pe monitorizarea campului termomecanic* - Dosar Nr. A 00255/12.04.2007
4. Cuzmin C., Epureanu A, Cuzmin G., Banu M., Marinescu V., Oancea N., *Freza-melc modul toroidala pentru prelucrarea danturilor cilindrice interioare si exterioare cu dinti drepti si inclinati* - Dosar Nr. A 00254/12.04.2007
5. Cuzmin C., Epureanu A., Oancea N., Marinescu V., Banu M., *Strung universal reconfigurabil* - Dosar Nr. A 00577/13.08.2007

6. Epureanu A., Teodor V., Cuzmin C., **Metodă și echipament pentru controlul adaptiv-armonic al sistemelor de fabricație reconfigurabile** – în curs de brevetare
7. Epureanu A., Teodor V., Cuzmin C., **Metodă și echipament pentru controlul adaptiv-topologic al sistemelor de fabricație reconfigurabile** – în curs de brevetare
8. Epureanu A., Cuzmin C., Teodor V., **Metodă și echipament pentru controlul adaptiv-integrat al sistemelor de fabricație reconfigurabile** – în curs de brevetare
9. Epureanu A., Teodor V., Cuzmin C., **Metodă și echipament pentru controlul inteligent-bazat pe vecinătăți al sistemelor de fabricație reconfigurabile** – în curs de brevetare

D. Propuneri standarde internationale

1. Proposal for update - **International Standard ISO/FDIS 1101/2000-Geometrical Product Specifications (GPS) – Geometrical Tolerancing – Tolerances of Form Orientation, Location and Runout.**

E. Editare publicatii

1. **RECONFIGURABLE MANUFACTURING SYSTEMS**, Thematic Serie, Vol. 1, The Annals of Dunarea de Jos University, Fascicula V, Anul XXX (XXV), 2007, ISSN 1221-4566, (indexata **BDI**).

F. Teze de doctorat

1. Marin Florin Bogdan, **Modelarea holonica a cinematicii sistemelor de prelucrare reconfigurabile**, Teza de doctorat, in curs de derulare
2. Valeriu Petrus, **Cercetari privind conducerea dimensionala a sistemelor tehnologice reconfigurabile**, Teza de doctorat, in curs de finalizare.
3. Ionut Constantin, **Sistem adaptiv de conducere dimensionala cu aplicatii la masinile unelte reconfigurabile**, Teza de doctorat, in curs de derulare.

G. Realizare prototipuri

1. **Sistem adaptiv inteligent de control dimensional**, implementat la un strung frontal.

H. Proiecte transmise la programe internationale

1. Proiectul european REHOLM, call identifier:FP7-NMP-2007-SMALL-1, intitulat **Development of robotic-smart machines for batch industrial production in open-ended and rapid changing real-market environments, with application in design of the next generation of machining systems**, Proposal No: CP-FP 213288-1, elaborat de Universitatea “Dunarea de Jos” Galati
2. Proiectul european INTELIDEF, call identifier:FP7-NMP-2007-SMALL-1, intitulat **Developing a new generation of metal forming systems characterized by intelligent control based on the online capturing of knowledge and its use in decision-making**, Proposal No: CP-FP 214578-1, elaborat de Universitatea “Dunarea de Jos” Galati si Universitatea “Lucian Blaga” din Sibiu.

I. Parteneriate internationale nou create

1. Acord de parteneriat stabilit între RIKEN Research Institute Tokio, Japonia, reprezentat de Dr. Akitake Makinouchi, Program Director, VCAD System Research Program, și Universitatea “Dunarea de Jos” din Galați, reprezentată de Prof. Dr. Ing. Nicoale Oancea, Directorul Centrului de Cercetări IT-CM, la data de 24 Mai 2007. Corespunzător acordului de parteneriat prima acțiune va consta în desfășurarea unui doctorat în cotutela condus de Prof. Dr. Ing. Alexandru Epureanu și Prof. Dr. Akitake Makinouchi, doctorand cu frecvență Susac C. Florin, tema “Modelarea și conducerea sistemelor de turnare reconfigurabile”, perioada de doctorat 2007-2010.

J. Produse software

PLAN.PAS – determinarea coeficienților ecuației unui plan determinat prin 3 puncte;
COEF.PAS – determinarea coeficienților ecuației care fituiește un nor de puncte dintr-un plan;
EC-PL.PAS – determinarea ecuației unui nor de puncte aflate într-un plan;
FIT-2PL.PAS – fituirea a două plane;
FIT-TRI.PAS – fituirea unui triedru;
IDENTIF.PAS – identificarea ecuației unui cilindru pe baza punctelor de pe el;
ID_ELIPS.PAS – determinarea necilindricității unui nor de puncte;
ID_CON.PAS – determinarea conicității unui nor de puncte;
FITUIRE.M – fituirea unui triedru prin algoritmi genetici;
SUP_CONJ.M – identificarea suprafețelor prin rețele neuronale;
SUP_CONJ_C.M – identificarea corecțiilor prin rețele neuronale;
CREMALIERA.M – profilarea sculei cremalieră reconfigurabile;
FITUIRE-PL1.M – fituirea unui plan prin algoritmi genetici;
FOURIER.M – determinarea coeficienților seriei Fourier care aproximează un șir de date experimentale;
PLAN_NEURO.M – identificarea unui plan utilizând rețele neuronale;
GENERARE_CILINDRU.M – identificarea unui cilindru utilizând rețele neuronale;
GENERARE_PLAN.M - identificarea unui plan utilizând rețele neuronale;
GENERARE_GENERAL.M - identificarea unui ansamblu de suprafețe (cilindru+plan) utilizând rețele neuronale;
CREMALIERA.LSP – determinarea avansului variabil astfel încât să se asigure o anumită valoare a secțiunii așchii nedetașate.

K. Programe noi de formare continuă

1. Curs postuniversitar de perfecționare intitulat “**Sisteme de prelucrare reconfigurabile- concepte de proiectare**”, Centrul de Formare Continuă și Transfer Tehnologic (CFCTT) al Universității “Dunarea de Jos” din Galați.
2. Curs postuniversitar de perfecționare intitulat **Utilizarea calculatorului în conducerea sistemelor tehnologice, cu aplicații la sistemele reconfigurabile**,

desfasurat la MITAL STEEL Galati, 56 ore, 16 credite, 34 cursanti, perioada 3.09-20.11.2007.

L. Programe si cursuri universitare noi

1. Masterat francofon, in domeniul sistemelor eficiente de prelucrare a materialelor cu specializarea *Inginierie tehnologica asistee par ordinateur*, 1.5 ani, in colaborare cu Universitatea Paris 13.
2. Curs universitar, *Sisteme flexibile de fabricatie*, anul III, Roboti Industriali.
3. Curs universitar, *Modelarea sistemelor mecatronice*, anul III , Mecatronica.
4. Curs de master, *Optimizare cu algoritmi genetici*, anul II, Modelare numerica a sistemelor mecanice si tehnologice

M. Consultanta si asistenta tehnica

1. S.C. CELPI S.A. Bucuresti,
2. S.C. Electromontaj Bucuresti,
3. S.C. EDIL-MECANICA S.A., Filipestii de Padure,
4. World Machinery Works S.A. Bacau.

N. Tehnologii noi realizate si implementate in industrie

1. *Tehnologie bazata pe ICT de conducere dimensionala*, implementata la masinile FICEP-20.36-NT, FICEP-16.34-NT, FICEP-803-PN, VERNET-PG-116 S de la S.C. CELPI S.A. Bucuresti.
2. *Tehnologie de conducere dimensionala adaptiva*, implementata la masinile FICEP-14.15 DCA (2 buc.), FICEP LPA 15, la S.C. EDIL-MECANICA S.A. de la Filipestii de Padure.
3. *Tehnologie de conducere dimensionala predictiva*, in curs de implementare, la masinile FICEP 14.15 DCA (2 buc.), FICEP 20.36 NT, VERNET-PG-137 S de la Electromontaj Bucuresti.

O. Efecte multiplicatoare

1. Căpățină, N., Mihăluță, M., Teodor, V., *Module Worm Cutter with Active Surfaces Generated by Continuous Sharpening*, Analele Universității „Dunărea de Jos” din Galați, Fasc. V, 2007, în curs de publicare;

4. Rezumat

Proiectul se refera la *o noua generatie de sisteme de fabricatie reconfigurabile (RMS)*, caracterizate prin aceea ca, folosind tehnici din tehnologia informatiei si comunicarii (ICT), se asigura un *control dimensional adaptiv/inteligent, capabil sa compenseze on-line toate abaterile cauzate de erorile geometrice si de proces*, imediat dupa reconfigurare si indiferent de structura obtinuta dupa reconfigurare.

Proiectul are ca scop *conducerea dimensionala adaptiv inteligenta astfel incat abaterile dimensionale generate de erorile sistemului de manufacturare sau de efectul campului termomecanic generat de proces sa fie compensate on-line fara interventia operatorului si in mod specific pentru fiecare exemplar in parte.*

Obiectivul proiectului a fost *dezvoltarea unor tehnici* bazate pe tehnologia informatiei si comunicarii pentru *controlul dimensional adaptiv/inteligent* al unei noi generatii de sisteme de manufacturare reconfigurabile.

Pentru a atinge obiectivul propus au fost desfasurate activitati in vederea dezvoltarii unor tehnici de identificare on-line a *geometriei si cinematicii* noii generatii de RMS, a unor tehnici pentru modelarea, identificarea si simularea on-line a *dinamicii* noii generatii de RMS, precum si in vederea conceperii unui sistem adaptiv inteligent de *control dimensional* al noii generatii de RMS-uri, care sa integreze tehnicile dezvoltate.

Pentru modelarea si identificarea geometriei, cinematicii și dinamicii sistemelor de fabricație reconfigurabile au fost dezvoltate următoarele tehnici:

1. Tehnica circulației parametrilor. Tehnica de identificare bazată pe circulația parametrilor constă în căutarea exhaustivă a valorilor parametrilor modelului matematic într-un spațiu restrâns, în jurul unui set de valori cunoscut aprioric, valori care determină similitudinea optimă între modelul și elementul real.

Premisa de bază a acestei tehnici este *singularitatea extremelor* în spațiul de căutare. Putem afirma că această premisă este fezabilă datorită spațiului restrâns în care se face căutarea, ceea ce face ca metoda să fie convergentă.

În aplicarea acestei tehnici se pornește de la faptul că la generarea unei suprafețe vor apare abateri atât ca poziție cât și ca formă față de suprafața teoretică. Aceste abateri sunt dificil de stabilit cu mijloace obișnuite.

La aplicarea acestei tehnici este necesară culegerea unui „nor de puncte” cu ajutorul sistemului de fabricație reconfigurabil, care va fi utilizat în acest caz ca mașină de măsurat, după care se caută poziția și forma suprafeței teoretice care va aproxima în mod optim suprafața reală.

2. Tehnica gradientului. Reprezintă o îmbunătățire a tehnicii bazate pe circulația parametrilor, în sensul că, în acest caz, căutarea nu este exhaustivă, ci se execută prin modificarea parametrului cu cel mai mare gradient la un moment dat. Acest lucru permite o convergență mai rapidă a soluțiilor spre soluția optimă.

3. Tehnica modelării armonice. Această tehnică pornește de la premisa că deplasarea săniilor mașinilor-unelte are loc cu anumite erori, ce pot fi determinate. Deși mișcarea motorului de deplasare al săniei este uniformă, datorită erorilor din lanțul cinematic de deplasare, sania se va mișca neuniform, rezultând erori de poziționare. După

determinarea erorilor în diferite puncte, acestea pot fi modelate prin dezvoltare în serii Fourier, fiind astfel posibilă calcularea mărimii erorii în orice punct al deplasării. Mai mult, având în vedere că, în timpul funcționării mașinii, acesta este supusă unui camp termic, ce va determina evoluția în timp a erorilor de poziție, a fost imaginată o metodă de modelare a coeficienților seriei Fourier (pe care am denumit-o modelare de ordinul doi). Astfel este posibilă modelarea erorilor cu un număr mai redus de coeficienți.

4. Tehnica modelării spline-cubice. Se bazează pe modelarea procesului prin determinarea polinomul de ordinul 3 care aproximează realitatea, parametrii modelului fiind în acest caz coeficienți și puncte.

5. Tehnica modelării neuronale. Această tehnică de identificare presupune utilizarea instrumentelor specifice, rețelele neuronale, antrenate pentru a găsi relațiile care apar între valorile erorilor obținute în diferite puncte.

Datorită faptului că măsurarea erorilor în zona de prelucrare este dificilă, presupunând oprirea procesului de prelucrare, a apărut ideea că este convenabil să facem identificarea sistemului prin măsurare doar la începutul procesului, măsurând erorile apărute, atât în zona de prelucrare, cât în într-o serie de puncte „martor” situate în afara zonei de prelucrare. După această etapă de identificare inițială, este antrenată o rețea neuronală pentru a descoperi relațiile ce se pot stabili între valorile erorilor în punctele din zona de prelucrare și valorile erorilor în punctele martor.

În continuare, pe parcursul prelucrării este suficient să determinăm erorile din punctele martor, pentru a putea estima ce erori vor apare la prelucrare și a lua măsuri pentru compensarea acestora.

6. Tehnici de căutare genetică. Tehnica de identificare genetică, dezvoltată în cadrul acestei cercetări, permite analizarea unui model complex, format din seturi de suprafețe care, pe lângă condițiile de formă și dimensiuni, trebuie să respecte și restricții referitoare la pozițiile relative ale suprafețelor respective. În acest caz funcția obiectiv este dată de ansamblul ecuațiilor suprafețelor și a ecuațiilor care modelează relațiile reciproce dintre acestea.

A fost conceput un sistem adaptiv inteligent de *control dimensional* al noii generații de RMS-uri, care poate integra următoarele tehnici de control, de asemenea dezvoltate în cadrul proiectului:

1. Controlul adaptiv-neuronal este o tehnică de control bazată pe un model obținut prin antrenarea unei *rețele neuronale* pe baza bazei de date ce conține datele *numerice* obținute prin *simularea experiențelor*. Sunt analizate fenomenele *mecanice*, de tip *static*, pe baza unui *model general și peren*.

Valorile parametrilor ce caracterizează modelul sunt determinate prin metoda “*back propagation*”, prin identificarea *off-line* a sistemului. Variabilele *deterministe* au structura *n variabile de intrare / n variabile de ieșire*.

Performanța modelului este evaluată prin valoarea *erorii medii*, permițând implementarea *preventivă* a comenzii.

2. Controlul adaptiv-armonic utilizează modele *analitice armonice, locale și temporare*, obținute pe baza *experiențelor fizice* ce constau în măsurarea *in-situ* a erorilor apărute la deplasarea săniilor mașinilor-unelte.

Modelul obținut este influențat de fenomenele *termo-mecanice* ce apar pe parcursul desfășurării experimentelor, acoperind aspectul *cinematic* al erorilor apărute la deplasarea

săniilor. Variabilele sunt *deterministe* și sunt calculate prin *metode analitice*, având structura: *1 variabilă de intrare / 1 variabilă de ieșire*.

Performanța modelului obținut este evaluată prin *eroarea medie* și permite determinarea unei comenzi de tip *proporțional*.

3. Control inteligent-bazat pe cazuri

Acest tip de control are la baza evoluția naturală a sistemului de prelucrare, monitorizarea comportării sistemului în timpul prelucrării, apoi prin compararea comportamentului curent cu comportări din evoluția anterioară a sistemului se realizează conducerea prelucrării. Dacă parametrii sistemului de prelucrare la momentul curent se regăsesc în baza de date, între stările relativ recente, atunci se poate aproxima comportarea sistemului ca fiind similară cu cea anterioară. Dacă starea curentă a sistemului nu se regăsește între stările anterioare, atunci se vor căuta similitudini între anumiți parametri, apoi prin intermediul tranzițiilor se va stabili mărimea de compensat. Acest tip de conducere nu are nevoie de un model analitic, se bazează pe evoluția naturală a sistemului de prelucrare, este o conducere bazată pe cazuri și pe similitudini.

4. Controlul adaptiv-topologic se referă la folosirea unui model *analitic*, constituit pe baza *experiențelor numerice*. Modelul *neuronal* ia în considerare seturile de suprafețe care formează o structură topologică și, pe baza metodei “*back propagation*”, le analizează ca un ansamblu de suprafețe. Aceste modele sunt influențate de aspectul *static mecanic* al manufacturării acestor ansambluri de suprafețe, fiind modele *generale și perene*.

Variabilele *deterministe* sunt de tipul *n/n*, fiind determinate prin metoda “*back propagation*”, iar modul de identificare a sistemului este de tip *off-line*.

Performanța modelului este evaluată prin *nivelul maxim al erorii*, permițând stabilirea *preventivă* a comenzii.

5. Controlul preventiv-inteligent

Controlul inteligent preventiv constă în monitorizarea sistemului de prelucrare, înregistrarea valorilor diferiților parametri în timpul prelucrării, precum și a valorilor finite obținute în urma prelucrării. Apoi, considerând succesiv mai multe modele analitice li se verifică performanța pe setul de valori de la prelucrările precedente, după care se adoptă pentru prelucrarea curentă modelul cel mai performant. De remarcat la acest tip de conducere este faptul că modelul este unul analitic care își schimbă forma funcției de evoluția sistemului.

6. Controlul adaptiv-integrat permite identificarea simultană a piesei și a sistemului de măsurare, utilizând un model de tip *analitic general și temporar*, obținut pe baza *experiențelor numerice*. Identificarea este realizată *on-line*.

Pentru determinarea parametrilor modelului *polinomial* se utilizează *algoritmi genetici*.

Modelul este influențat de fenomenele *mecanice* apărute în procesul de identificare și are aspect *static*.

Variabilele sunt *deterministe*, de tip *n/n*.

Performanța modelării este evaluată prin *dinamica valorilor parametrilor modelului*, fiind astfel posibilă implementarea comenzii *preventive*.

7. Controlul inteligent-bazat pe vecinătăți se bazează pe un model *numeric, general și temporar*. Valorile parametrilor modelului *cazuistic* sunt determinate prin metoda

“*K-nearest neighbor*”, prin analizarea unei baze de date obținute prin *experiențe numerice*.

Identificarea, executată “*on-machine*” ține seama de fenomenele *thermo-mecanice*, acoperind aspectele *statice* ale identificării.

Variabilele, de tip *determinist*, sunt de forma *n variabile de intrare / n variabile de ieșire*. Performanțele modelului sunt evaluate prin *nivelul maxim al erorii*, comanda implementată fiind de tip *preventiv*.

Rezultatele obținute în cadrul programului au fost diseminate pe următoarele căi:

1. publicare în reviste de specialitate;
2. comunicare la conferințe științifice internaționale;
3. inserarea rezultatelor obținute în programa analitică a cursurilor predate studenților;
4. transferul rezultatelor în mediul industrial prin contractarea unor lucrări de cercetare aplicative;
5. formularea unor cereri de brevete de invenție.

5. Descriere științifică și tehnică

5.1 Premisele științifice și tehnice

În timpul funcționării unui RMS, în spațiul ocupat de acestea se instalează simultan un ansamblu de câmpuri mecanice, termice, electrice sau chiar magnetice, care solicită sistemul. Efectul acestei solicitări este instalarea altor câmpuri cum ar fi: câmpul deformațiilor elastice, câmpul tensiunilor electrice, câmpul deformațiilor termice sau câmpul uzurilor, toate provocând inevitabil abateri dimensionale ale obiectului manufacturat. În prezent, pentru diminuarea abaterilor dimensionale (efectul), se procedează la reducerea intensității procesului de manufacturare și la reducerea erorilor componentelor sistemului (cauza), ceea ce afectează dramatic economicitatea procesului. În acest proiect se propune păstrarea la nivel înalt a intensității procesului și folosirea unor echipamente ieftine - pentru a asigura economicitatea - iar pentru a asigura precizia, se propune compensarea abaterilor dimensionale în locul reducerii acestora.

Pentru a putea fi compensată eroarea, este necesară identificarea dinamicii sistemelor de manufacturare și folosirea modelului astfel obținut pentru predicția erorii de prelucrare. Dacă identificarea are loc on-line, atunci, pentru fiecare exemplar manufacturat se poate determina valoarea prognozată a erorii și, prin intervenția în programul operațional al sistemului de manufacturare, valoarea prognozată poate fi compensată.

Câmpurile de natura termo-mecanică ce se instalează în sistemele de manufacturare au unele particularități (cum ar fi coerența) care pot genera proprietăți specifice și tehnici de manipulare, de asemenea specifice. Plecând de la aceste particularități, se poate conceptualiza o clasă particulară de câmpuri a cărei teorie să stea la baza identificării sistemului simulării procesului și compensării erorii de manufacturare.

Să considerăm funcționarea unui sistem de manufacturare în absența obiectului de prelucrat. Suprafața generatoare a sculei se deplasează pe traiectoria asigurată de cinematica sistemului și înfășoară o suprafață virtuală care, din cauza erorilor geometrice și cinematice ale sistemului prezintă abateri față de geometria țintă a obiectului de manufacturat. Pentru reducerea acestor abateri, se încearcă reducerea erorilor geometrice și cinematice ale sistemului, lucru care conduce la creșterea excesivă a costului acestuia. În acest proiect se propune compensarea acestor erori folosind sistemul de conducere numerică.

Dacă sistemul de manufacturare este reconfigurabil, atunci câmpul erorilor suprafeței virtuale se modifică ca urmare a reconfigurării, ceea ce face necesară reidentificarea geometriei și cinematice sistemului. În acest scop, se propune inserarea în programul sistemului de manufacturare a unui subciclu în cursul căruia să fie actualizat modelul erorilor geometrice și cinematice ale acestuia.

Ca urmare a faptului că sistemul de manufacturare nu este monolit, ci se compune dintr-un număr mare de piese distincte, în timpul funcționării acestuia geometria și cinematica sistemului evoluează, ceea ce impune calibrarea repetată a modelului erorilor geometrice și cinematice.

Ținând cont de coerența câmpurilor termo-mecanice care apar în sistemele de manufacturare, se poate concepe un sistem senzorial, cu un număr minim de senzori, care

să descrie satisfăcător aceste campuri. În plus, se pot adăuga alți senzori al căror rol este acela ca, pe baza tehnicilor din domeniul "sensor fusion", să supravegheze sistemul senzorial de baza și să valideze în permanență semnalele transmise de acesta.

Având în vedere faptul ca sistemul de manufacturare este reconfigurabil, sistemul senzorial va trebui să fie atât distribuit cât și partajat, iar sistemul de comunicare sa permită reconfigurarea ușoară a sistemului de manufacturare.

Pentru procesarea semnalelor obținute de la senzori, în vederea folosirii acestora pentru identificarea sistemului de manufacturare, pot fi aplicate tehnici specifice inteligenței artificiale.

Sistemul senzorial specific conducerii numerice a sistemelor de manufacturare poate fi integrat în sistemul senzorial general folosit pentru conducere adaptiv-inteligentă a procesului de manufacturare.

Noua generație de sisteme de fabricație reconfigurabile se caracterizează prin faptul că pe aceste sisteme are loc: fabricarea, monitorizarea procesului, identificarea geometrică și cinematică a procesului, corecția și compensarea erorilor geometrice și de proces. Toate aceste activități au loc on-line și fără intervenția operatorului.

5.2 Ideile cheie considerate. Tehnici de control dimensional adaptiv/inteligent dezvoltate

Idei cheie

În prezent, pentru diminuarea abaterilor dimensionale (*efectul*), se procedează la reducerea intensității procesului de manufacturare și la reducerea erorilor componentelor sistemului (*cauza*), ceea ce afectează dramatic economicitatea procesului. În acest proiect se dezvoltă ideea *păstrării la nivel înalt a intensității procesului* și folosirii unor *echipamente ieftine* - pentru a asigura *economicitatea* - iar pentru a asigura *precizia*, se recurge la *compensarea abaterilor dimensionale* prin control dimensional *predictiv*, la care *corecția precede eroarea care a determinat-o*. În acest fel, eroarea este evitată, nu diminuată.

În scopul realizării unui control dimensional predictiv, este necesară identificarea dinamicii sistemelor de manufacturare și folosirea modelului astfel obținut pentru a *prognoza deviația*. Rezultatul astfel obținut este introdus în sistemul de control numeric al mașinii.

De exemplu, dacă la prelucrarea unui lot de piese - după ce a fost prelucrat exemplarul n - sistemul de manufacturare ar fi oprit și supus procedurii de identificare a dinamicii, atunci ciclul de prelucrare al exemplarului $n+1$ ar putea fi corectat, astfel încât deviațiile dimensionale să fie compensate. Dacă însă identificarea *are loc on-line*, atunci, pentru fiecare exemplar manufacturat, se poate determina valoarea prognozată a deviației și, prin *intervenția on-line* în programul operațional al sistemului de manufacturare, valoarea prognozată poate fi *compensată tot on-line*.

Ca urmare, eroarea reală obținută (care este diferența dintre deviația reală și valoarea ei prognozată) nu depinde nici de erorile de sistem și nici de intensitatea procesului, ci doar de precizia cu care au fost prognozate deviațiile corespunzătoare exemplarului următor.

În această abordare, următoarele observații sunt utile:

a) Câmpurile de natura termo-mecanică ce se instalează în sistemele de manufacturare au unele particularități (cum ar fi *coerența*), care pot genera proprietăți specifice și tehnici de manipulare, de asemenea specifice.

b) Având în vedere faptul că sistemul de manufacturare este reconfigurabil, sistemul senzorial va trebui să fie atât *distribuit* cât și *partajat*, iar sistemul de comunicare să permită reconfigurarea ușoară a sistemului senzorial.

c) Pentru procesarea semnalelor obținute de la senzori, în vederea folosirii acestora pentru identificarea sistemului de manufacturare, au fost aplicate *tehnici specifice inteligenței artificiale*.

d) Masurarea, în afara sistemului de manufacturare, a obiectului prelucrat este un simplu act de constatare, post-factum, a unei anumite stări de fapt (uneori iremediabile), privind respectivul obiect; pentru controlul dimensional al acestuia este în plus necesară o intervenție, în scopul modificării respectivei stări prin reluarea procesului de generare a obiectului ceea ce determină timp și costuri suplimentare importante.

Noua generație de sisteme de manufacturare reconfigurabile, dezvoltată în cadrul acestui proiect, se caracterizează prin faptul că, pe aceste sisteme are loc: *prelucrarea* produsului, *monitorizarea* procesului dar și a obiectului manufacturat, *identificarea* geometrică, cinematică și dinamică a sistemului de prelucrare dar și a sistemului de măsurare, precum și *corecția* și *compensarea* erorilor geometrice și de proces. Toate aceste activități au loc *on-line* și *fără intervenția operatorului*.

Tehnici de control dimensional adaptiv/inteligent dezvoltate

În tabelul 1 sunt prezentate în mod sintetic tehnicile de control dezvoltate în cadrul prezentului proiect de cercetare.

Tabel. 1. Tehnici de control dimensional adaptiv/inteligent dezvoltate în cadrul proiectului

Nr. crt.	Denumirea tehnicii	Control adaptiv-neuronal	Control adaptiv-armonic	Control inteligent-bazat-pe-cazuri	Control adaptiv-topologic	Control preventiv-inteligent	Control adaptiv-integrat	Control inteligent-bazat-pe-vecinatați
	Caracteristici							
1.	Natura modelului	numeric	analitic	logic	analitic	analitic	analitic	numeric
2.	Fenomenologia	mecanic	termo-mecanic	termo-mecanic	mecanic	termo-mecanic	mecanic	termo-mecanic
3.	Aspecte acoperite în domeniul considerat	static	cinematic	dinamic	static	dinamic	static	static
4.	Numărul variabilelor input/output	n/n	1/1	n/1	n/n	n/1	n/n	n/n
5.	Felul variabilelor	deterministe	deterministe	deterministe	deterministe	deterministe	deterministe	deterministe
6.	Modul de acoperire al domeniului considerat	cu modele generale și perene	cu modele locale și temporare	cu modele locale și temporare	cu modele generale și perene	cu modele locale și temporare	cu modele generale și temporare	cu modele generale și temporare
7.	Tipul modelului	neuronal	armonic	cazuistic	neuronal	multiplu	polinomial	cazuistic
8.	Modul de constituire a bazei de date experimentale	experiențe numerice	experiențe fizice	experiențe fizice	experiențe numerice	experiențe fizice	experiențe numerice	experiențe numerice
9.	Metoda de determinare a valorilor parametrilor	back propagation	analitică	case-base reasoning	back propagation	regresie	algoritm genetic	K-nearest neighbor
10.	Metoda de evaluare a performanței modelului	eroarea medie	eroarea medie	eroarea maximă	eroarea maximă	eroarea medie	dinamica valorilor parametrilor	eroarea maximă
11.	Modul de identificare a sistemului	off-line	in-situ	in-cycle	off-line	in-cycle	on-line	on-machine
12.	Modul de stabilire și implementare a comenzii	preventiv	proporțional	preventiv	preventiv	preventiv	preventiv	preventiv

Controlul adaptiv-neuronal este o tehnică de control bazată pe un model obținut prin antrenarea unei *rețele neuronale* pe baza bazei de date ce conține datele *numerice* obținute prin *simularea experiențelor*. Sunt analizate fenomenele *mecanice*, de tip *static*, pe baza unui *model general și peren*.

Valorile parametrilor ce caracterizează modelul sunt determinate prin metoda “*back propagation*”, prin identificarea *off-line* a sistemului. Variabilele *deterministe* au structura *n variabile de intrare / n variabile de ieșire*.

Performanța modelului este evaluată prin valoarea *erorii medii*, permițând implementarea *preventivă* a comenzii.

Controlul adaptiv-armonic utilizează modelele *analitice armonice, locale și temporare*, obținute pe baza *experiențelor fizice* ce constau în măsurarea *in-situ* a erorilor apărute la deplasarea săniilor mașinilor-unelte.

Modelul obținut este influențat de fenomenele *termo-mecanice* ce apar pe parcursul desfășurării experimentelor, acoperind aspectul *cinematic* al erorilor apărute la deplasarea săniilor. Variabilele sunt *deterministe* și sunt calculate prin *metode analitice*, având structura: *1 variabilă de intrare / 1 variabilă de ieșire*.

Performanța modelului obținut este evaluată prin *eroarea medie* și permite determinarea unei comenzi de tip *proporțional*.

Control inteligent-bazat pe cazuri

Acest tip de control are la baza evoluția naturală a sistemului de prelucrare, monitorizarea comportării sistemului în timpul prelucrării, apoi prin compararea comportamentului curent cu comportări din evoluția anterioară a sistemului se realizează conducerea prelucrării. Dacă parametrii sistemului de prelucrare la momentul curent se regăsesc în baza de date, între stările relativ recente, atunci se poate aproxima comportarea sistemului ca fiind similară cu cea anterioară. Dacă starea curentă a sistemului nu se regăsește între stările anterioare, atunci se vor căuta similitudini între anumiți parametri, apoi prin intermediul tranzițiilor se va stabili mărimea de compensat. Acest tip de conducere nu are nevoie de un model analitic, se bazează pe evoluția naturală a sistemului de prelucrare, este o conducere bazată pe cazuri și pe similitudini.

Controlul adaptiv-topologic se referă la folosirea unui model *analitic*, constituit pe baza *experiențelor numerice*. Modelul *neuronal* ia în considerare seturile de suprafețe care formează o structură topologică și, pe baza metodei “*back propagation*”, le analizează ca un ansamblu de suprafețe. Aceste modele sunt influențate de aspectul *static mecanic* al manufacturării acestor ansambluri de suprafețe, fiind modelele *generale și perene*.

Variabilele *deterministe* sunt de tipul *n/n*, fiind determinate prin metoda “*back propagation*”, iar modul de identificare a sistemului este de tip *off-line*.

Performanța modelului este evaluată prin *nivelul maxim al erorii*, permițând stabilirea *preventivă* a comenzii.

Controlul preventiv-inteligent

Controlul inteligent preventiv constă în monitorizarea sistemului de prelucrare, înregistrarea valorilor diferiților parametri în timpul prelucrării, precum și a valorilor finite obținute în urma prelucrării. Apoi, considerând succesiv mai multe modele analitice li se verifică performanța pe setul de valori de la prelucrările precedente, după care se adoptă pentru prelucrarea curentă modelul cel mai performant. De remarcat la acest tip de

conducere este faptul ca modelul este unul analitic care isi schimba forma functie de evolutia sistemului.

Controlul adaptiv-integrat permite identificarea simultană a piesei și a sistemului de măsurare, utilizând un model de tip *analitic general și temporar*, obținut pe baza *experiențelor numerice*. Identificarea este realizată *on-line*.

Pentru determinarea parametrilor modelului *polinomial* se utilizează *algoritmi genetici*.

Modelul este influențat de fenomenele *mecanice* apărute în procesul de identificare și are aspect *static*.

Variabilele sunt *deterministe*, de tip *n/n*.

Performanța modelării este evaluată prin *dinamica valorilor parametrilor modelului*, fiind astfel posibilă implementarea comenzii *preventive*.

Controlul inteligent-bazat pe vecinătăți se bazează pe un model *numeric, general și temporar*. Valorile parametrilor modelului *cazuistic* sunt determinate prin metoda "*K-nearest neighbor*", prin analizarea unei baze de date obținute prin *experiențe numerice*.

Identificarea, executată "*on-machine*" ține seama de fenomenele *thermo-mecanice*, acoperind aspectele *statice* ale identificării.

Variabilele, de tip *determinist*, sunt de forma *n variabile de intrare / n variabile de ieșire*. Performanțele modelului sunt evaluate prin *nivelul maxim al erorii*, comanda implementată fiind de tip *preventiv*.

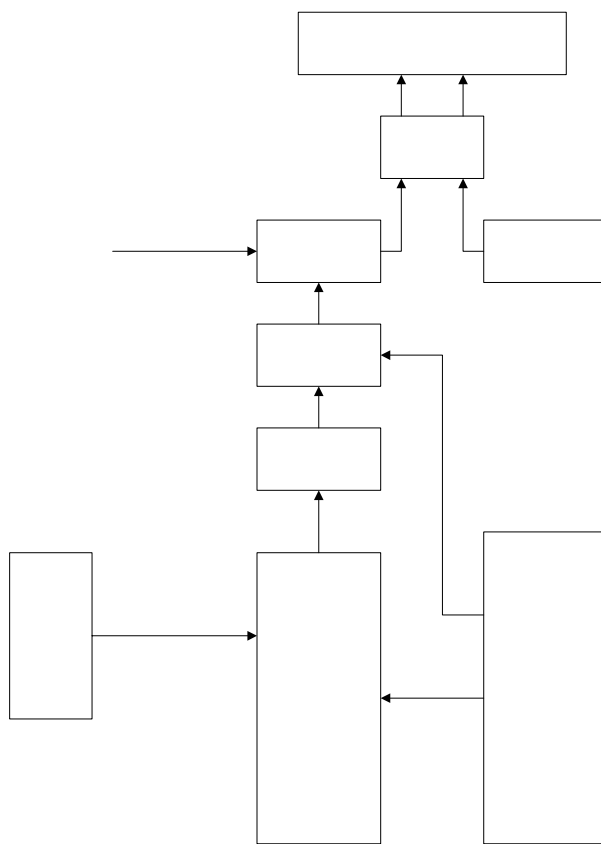


Fig. 2. Schema controlului inteligent-bazat pe vecinătăți

5.3 Activități științifice și alte activități întreprinse pentru atingerea obiectivului. Rezultatele obținute.

Activități științifice

Obiectivul 3. *Validarea experimentală a tehnicilor dezvoltate, prin realizarea în condiții de laborator a unui sistem de control dimensional adaptiv inteligent, specific RMS-urilor*

Activitatea: Validarea experimentală a tehnicii de identificare on-line a geometriei și cinematicii

Modelarea geometriei și cinematicii sistemelor de fabricație reconfigurabile se realizează prin descrierea discretă a realității.

În cadrul prezentului proiect au fost dezvoltate, în această abordare, o serie de tehnici de identificare, dintre care mai jos se prezintă următoarele:

- **Tehnică modelării neuronale.** Această tehnică de identificare presupune utilizarea instrumentelor specifice, rețelele neuronale, antrenate pentru a găsi relațiile care apar între valorile erorilor obținute în diferite puncte.

Datorită faptului că măsurarea erorilor în zona de prelucrare este dificilă, presupunând oprirea procesului de prelucrare, schimbarea sculei cu palpatorul și explorarea suprafeței prelucrate, a apărut ideea că este convenabil să facem identificarea sistemului prin măsurare doar la începutul procesului, măsurând erorile apărute, atât în zona de prelucrare, cât în într-o serie de puncte „martor” situate în afara zonei de prelucrare. După această etapă de identificare inițială, este antrenată o rețea neuronală pentru a descoperi relațiile ce se pot stabili între valorile erorilor în punctele din zona de prelucrare și valorile erorilor în punctele martor.

În continuare, pe parcursul prelucrării este suficient să determinăm erorile din punctele martor pentru a putea estima ce erori vor apare la prelucrare și a lua măsuri pentru compensarea acestora.

- **Tehnică de căutare genetică.** Tehnica de identificare genetică, dezvoltată în cadrul acestei cercetări, permite analizarea unui model complex, format din seturi de suprafețe care, pe lângă condițiile de formă și dimensiuni, trebuie să respecte și restricții referitoare la pozițiile relative ale suprafețelor respective. În acest caz funcția obiectiv este dată de ansamblul ecuațiilor suprafețelor și a ecuațiilor care modelează relațiile reciproce dintre acestea.

- **Tehnică regenerării virtuale.** Se bazează pe refacerea virtuală a procesului de generare a suprafeței piesei, dar nu cu elementele geometrice și cinematice nominale ci cu elemente reale (determinate prin măsurare). În acest fel este posibilă analiza predictivă a erorilor ce apar la prelucrarea efectivă și se pot lua măsuri pentru compensarea acestor erori.

Datorită acestui fapt are loc anularea erorilor geometrice de prelucrare, și nu diminuarea lor.

- **Tehnica modelării armonice.** Această tehnică pornește de la premisa că deplasarea săniilor mașinilor-unelte are loc cu anumite erori, ce pot fi determinate. Deși mișcarea motorului de deplasare al săniei este uniformă, datorită erorilor din lanțul cinematic de deplasare, sania se va mișca neuniform, rezultând erori de poziționare.

După determinarea erorilor în diferite puncte, acestea pot fi modelate prin dezvoltare în serii Fourier, fiind astfel posibilă calcularea mărimii erorii în orice punct al deplasării. Mai mult, având în vedere că în timpul funcționării mașinii acesta este supusă unui gradient termic, ce va determina evoluția în timp a erorilor de poziție, a fost imaginată o metodă de modelare a coeficienților seriei Fourier (pe care am denumit-o modelare de ordinul doi). Astfel este posibilă modelarea erorilor cu un număr mai redus de coeficienți.

- Verificări experimentale

Pentru a verifica tehnicile de identificare on-line a geometriei și cinematicii sistemului, a fost realizată o aplicație în care au fost parcurse etapele descrise anterior.

Structura topologică analizată este formată din 2 suprafețe, cilindrice cu diametrul de 100 mm.

S-a obținut o bază de date cu 2187 de înregistrări, fiecare înregistrare având 57 de câmpuri (50 valori ale funcției f și 7 parametri în fiecare set de conformitate).

Cu această bază de date a fost antrenată o rețea neuronală având 100 de neuroni ascunși, antrenarea făcându-se pentru un număr maxim de 1000 de antrenări. Modelul a fost obținut utilizând programul „Neural Modeler NNModel” versiunea 1.4, luându-se ca metodă de antrenare „Standard Back-Error Propagation”.

În tabelul 1 este prezentată precizia cu care rețeaua neuronală antrenată regăsește la interogare coeficienții cu care s-a făcut antrenarea.

Tabel 1

Parametrul	Real	Calculat	Eroare relativă [%]
y_{01} [mm]	80.04307	80.04000	0.00004
φ_1 [°]	-0.00038	-0.00042	-0.10232
R_1 [mm]	49.9993	50.00000	-0.00001
x_{02} [mm]	160.0402	160.04000	0.00000
y_{02} [mm]	-0.03777	-0.04000	-0.05904
φ_2 [°]	0.00042	0.00042	0.00267
R_2 [mm]	49.96222	49.96000	0.00004

Trebuie remarcat faptul că, prin această tehnică este posibilă modelarea structurilor topologice, structuri în cadrul cărora suprafețele pieselor sunt considerate în ansamblul lor, ca seturi de suprafețe și nu ca suprafețe independente. Astfel, suprafețele sunt privite în ansamblul lor, așa cum se întâmplă în realitate, și nu ca suprafețe individuale. Pentru a demonstra acest lucru a fost experimentată identificarea a două suprafețe, mai întâi în mod individual și apoi sub forma unei structuri topologice (ansamblu de suprafețe).

A fost analizat cazul în care structura topologică este formată dintr-o suprafață plană și o suprafață cilindrică, având axa paralelă cu suprafața plană.

S-a antrenat o rețea neuronală pe baza coordonatelor punctelor măsurate de pe cele două suprafețe.

Baza de date utilizată pentru antrenarea rețelei a avut 123 de înregistrări, fiecare cuprinzând câte 30 de câmpuri reprezentând coordonate ale punctelor și câte 1 câmp reprezentând abaterea de la paralelism între axa suprafeței cilindrice și suprafața plană. Ca date de intrare au fost utilizate coordonatele punctelor, iar ca date de ieșire au fost considerate abaterile unghiulare.

Pentru identificarea individuală a suprafețelor, a fost determinat un set de date reprezentând distanțe ale punctelor dintr-un plan real, rotit în jurul axei y cu unghiul α în domeniul $[-1^\circ; 1^\circ]$ și cu acest set de date a fost antrenată o rețea neuronală având ca date de intrare valorile distanțelor, iar ca date de ieșire valorile corespunzătoare ale unghiului de rotație α . Pentru verificare a fost interogată rețeaua cu un al doilea set de date pentru care a fost determinată o eroare de măsurare de ordinul ± 0.0025 mm. Câteva dintre rezultatele interogării sunt prezentate în tabelul 2.

Tabel 2

α real [rad]	α calculat [rad]	eroare [%]
-0.00698	-0.00692	0.87806
-0.00698	-0.00695	0.44834
0.00175	0.00172	1.44961
0.00175	0.00166	4.88741
0.00175	0.00169	3.16851
0.01047	0.01066	-1.79526
0.01047	0.01066	-1.79526

O a doua rețea neuronală a fost antrenată cu un set de date reprezentând distanțe ale unor puncte de pe o suprafață cilindrică, având raza de 20 mm și a cărei axă face cu axa z unghiul β cu valori în domeniul $[-5^\circ; 5^\circ]$, până la suprafața cilindrică teoretică de aceeași rază și cu axa suprapusă axei z . În scopul verificării rețeaua a fost interogată cu un al doilea set de date pentru care a fost determinată o eroare de măsurare de ordinul ± 0.0025 mm. Câteva dintre rezultatele interogării sunt prezentate în tabelul 3.

Tabel 3

β real [rad]	β calculat [rad]	eroare [%]
-0.03491	-0.03315	5.03337
0.05236	0.05356	-2.29183
-0.03491	-0.03351	4.00206
0.00873	0.00782	10.38893
0.05236	0.05331	-1.81436
-0.03491	-0.03380	3.17128
0.05236	0.05371	-2.57830

În cele din urmă a fost măsurat un set de date cuprinzând distanțele de la punctele de pe suprafața plană reală și respectiv cea cilindrică reală până la suprafețele teoretice corespunzătoare. Acest set de date a fost utilizat pentru antrenarea unei rețele neuronale care a avut ca date de ieșire unghiul dintre axa cilindrului și suprafața plană

$$\gamma = \frac{\pi}{2} + \beta - \alpha . \quad (1)$$

Acest unghi γ a fost calculat pentru fiecare dintre valorile obținute la primele două interogări (γ_1) și a fost comparat cu valorile obținute pentru cea de a treia interogare (γ_2 , rețea antrenată cu puncte de pe suprafața plană și cea cilindrică simultan). Rezultatele obținute sunt prezentate în tabelul 4.

Tabel 4

γ real [rad]	γ calculat [rad]	eroare [%]
1.54290	1.54254	0.02333
1.63010	1.62981	0.01779
1.53410	1.53342	0.04433
1.57780	1.57768	0.00761
1.62140	1.62117	0.01419
1.52540	1.52512	0.01836
1.61270	1.61230	0.02480

Rețeaua neuronală a fost antrenată să furnizeze pe lângă deviațiile constatate și corecțiile de poziție ce trebuie aplicate atât punctelor din plan cât și poziției unghiulare a axei suprafeței cilindrice în scopul micșorării deviațiilor obținute. Aceste date sunt reprezentate în tabelul 5, fiind prezentate valorile determinate analitic ale corecțiilor și valorile estimate, obținute în urma interogării rețelei neuronale.

Tabel 5

ΔX_1 analitic [mm]	ΔX_1 estimat [mm]	eroare [%]	ΔX_2 analitic [mm]	ΔX_2 estimat [mm]	eroare	$\Delta \gamma$ analitic [rad]	$\Delta \gamma$ estimat [rad]	eroare [%]
-0.06931	-0.06930	0.01731	0.07025	0.06935	1.27692	0.02793	0.02798	-0.19696
-0.06960	-0.06980	-0.28303	0.06982	0.06989	-0.09739	-0.05934	-0.05924	0.17020
0.01761	0.01865	-5.92980	-0.01723	-0.01857	-7.80216	0.03665	0.03700	-0.94947
0.01809	0.01737	3.99071	-0.01649	-0.01731	-4.97908	-0.00698	-0.00668	4.31582
0.01777	0.01780	-0.19702	-0.01657	-0.01768	-6.69241	-0.05062	-0.05033	0.56307
0.10533	0.10499	0.32280	-0.10393	-0.10495	-0.98143	0.04538	0.04550	-0.26664
0.10536	0.10501	0.33219	-0.10442	-0.10489	-0.45011	-0.04189	-0.04197	-0.19576

Pentru a verifica precizia determinării unghiului relativ între cele două suprafețe în cazul determinării simultane față de cazul determinării separate a fost interogată rețeaua, calculându-se unghiurile α , β și γ . rezultatele sunt prezentate în tabelul 6.

Tabel 6

γ real [rad]	α calculat [rad]	β calculat [rad]	$\gamma=\pi/2+\beta-\alpha$ [rad]	γ calculat [rad] (simultan)	eroare separat [%]	eroare simultan [%]
1.54290	-0.00692	-0.03315	1.544566	1.54254	-0.108	0.023333
1.63010	-0.00695	0.05356	1.631306	1.62981	-0.074	0.01779
1.53410	0.00172	-0.03351	1.535566	1.53342	-0.09558	0.044326
1.57780	0.00166	0.00782	1.576956	1.57768	0.053471	0.007606
1.62140	0.00169	0.05331	1.622416	1.62117	-0.06268	0.014185
1.52540	0.01066	-0.03380	1.526336	1.52512	-0.06138	0.018356
1.61270	0.01066	0.05371	1.613846	1.61230	-0.07108	0.024803

În concluzie, privind suprafețele piesei ca spații topologice este posibilă determinarea mai exactă a poziției relative între suprafețele respective, poziție care este considerată importantă pentru funcționarea piesei.

În figura 3 sunt prezentate erorile relative în cazul identificării simultane a suprafețelor și în cazul identificării separate a acestora. Este evidentă îmbunătățirea preciziei atunci când identificarea suprafețelor se face simultan, considerându-le ca un singur spațiu topologic. Modelul neuronal obținut permite atât verificarea conformității cât și determinarea corecțiilor necesare pentru compensare.

Utilizarea rețelelor neuronale elimină necesitatea cunoașterii soluției inițiale ale funcției criteriu ce servește pentru determinarea parametrilor suprafeței. În plus acest mod de identificare face posibilă corecția on-line a deviațiilor apărute.

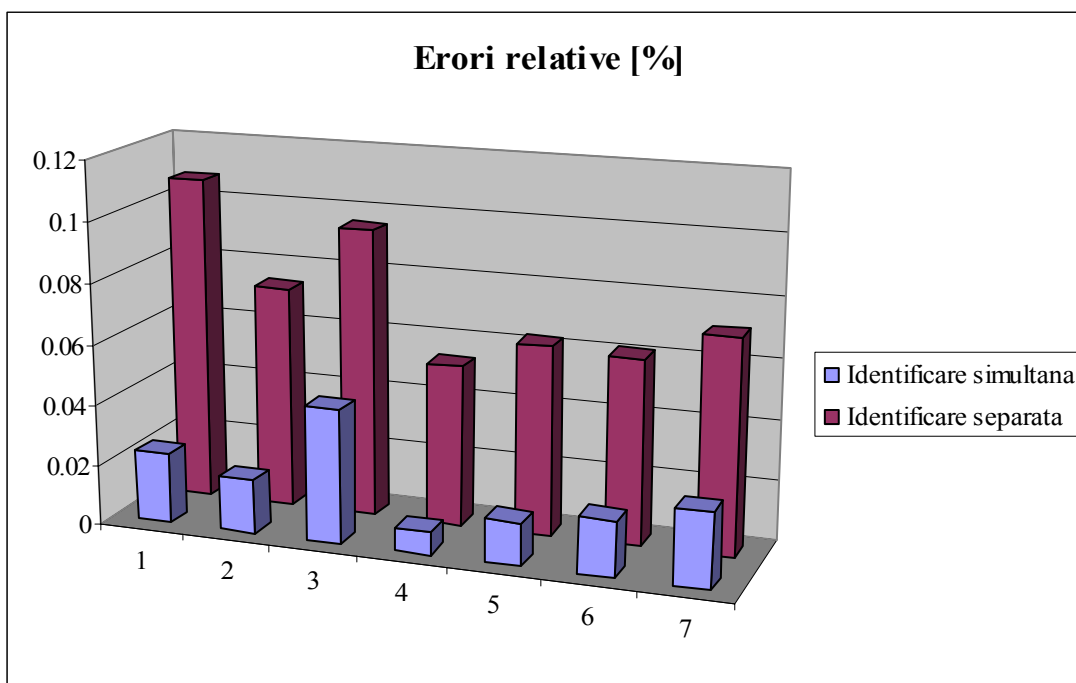


Fig. 3. Erorile relative calculate în cazul celor două tipuri de identificare

Obiectivul 4. Conceperea unui sistem adaptiv inteligent de control dimensional al noii generații de RMS-uri, care sa integreze tehnicile dezvoltate

Activitatea: Conceperea și proiectarea unui sistem adaptiv inteligent de control dimensional a noii generații de RMS-uri

În cadrul prezentului proiect a fost conceput un sistem de conducere adaptiv / inteligent, care este alcătuit din următoarele opt componente (vezi figura 4).

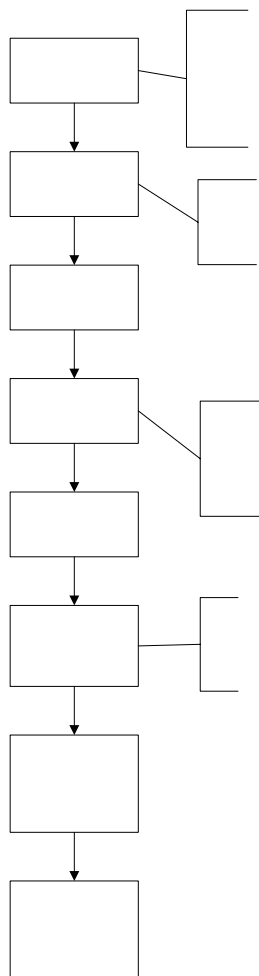


Fig. 4. Componentele sistemului de conducere

Piesa

Spre exemplificare putem considera piesa reprezentată în figura 3, prelucrată pe un sistem de manufacturare reconfigurabil.

S-a considerat că prelucrarea se face dintr-o singură prindere, iar sistemul de prelucrare este folosit și ca sistem de măsurare

Cotele importante pentru funcționarea piesei în ansamblul din care face parte sunt cotele tolerate. Aceste au fost supuse procesului de identificare cu ajutorul tehnicilor dezvoltate în proiect.

Ca suprafețe importante ale acestei piese, stabilite pe baza dimensiunilor tolerate, suprafețele plane P, Q și R și suprafețele cilindrice de diametre D_1 și D_2 și având axe 1-2 și respectiv 3-4.

Parametrii modelului reprezintă acele deviații ale suprafeței reale care sunt relevante pentru funcționarea piesei în exploatare și de aceea au limite impuse.

Putem considera că modelul piesei analizate are 7 parametri independenți: cele două distanțe ale axelor alezajelor față de suprafața de referință (planul P), distanța axei alezajului de diametru D_2 față de planul Q, distanța între axele alezajelor, fiecare dintre diametrele celor două alezaje și unghiul între axele alezajelor.

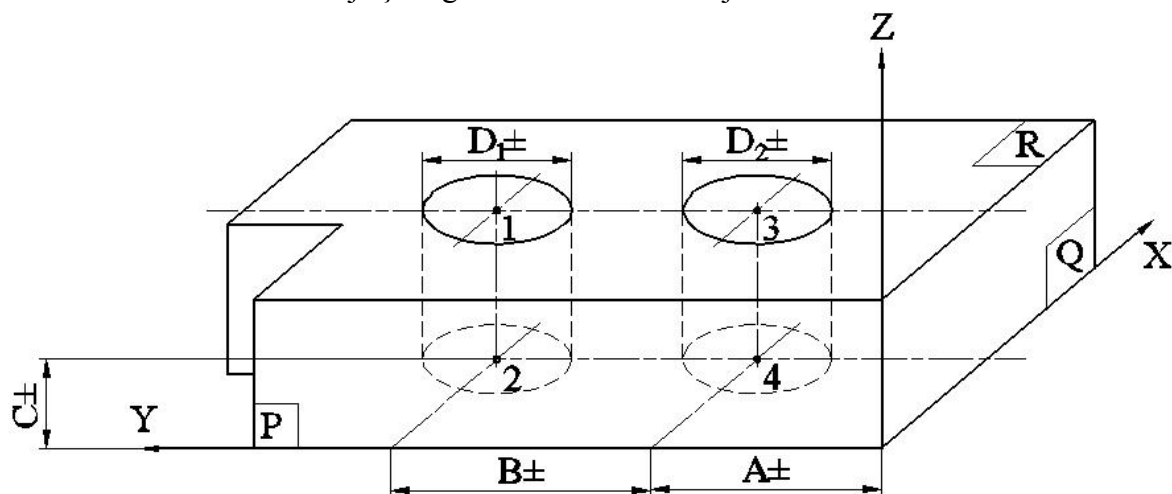


Fig. 5. Piesa analizată

Programul piesă

Analizând suprafețele piesei se poate observa faptul că pentru prelucrarea acesteia sunt necesare două tipuri de sculă (vezi figura 6).

Scula I va prelucra suprafețele plane P și Q, iar scula II va prelucra cele două alezaje de diametre D_1 și respectiv D_2 .

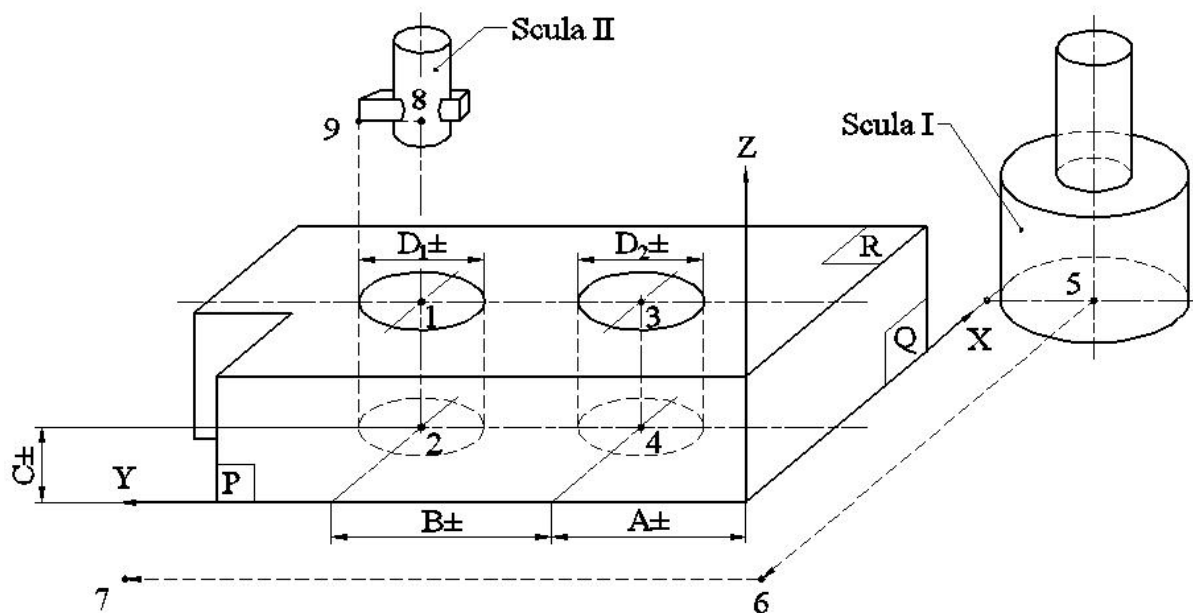


Fig. 6. Programul piesă

Programul piesă va cuprinde:

- deplasarea sculei I pe traiectoria determinată de punctele 5-6-7, cu viteza de avans programată. În acest mod se vor genera suprafețele plane P și Q;
- deplasarea sculei II în punctul 8, situat pe axa alezajului de diametru D_1 ;
- avansul sculei în lungul axei, între punctele 1 și 2, generându-se suprafața cilindrică;
- ridicarea sculei, între punctele 2-8;
- deplasarea rapidă a sculei pe axa alezajului de diametru D_2 ;
- avansul sculei în lungul axei determinate de punctele 3-4;
- retragerea rapidă a sculei.

În acest mod sunt generate suprafețele piesei care prezintă restricții de dimensiune sau poziție relativă.

Obs. Am presupus ca fiind prelucrate la o operație anterioară suprafața plană R și găurile necesare pentru generarea alezajelor cu scula de tip II.

Explorarea piesei

Explorarea piesei se execută pe același sistem pe care se realizează și prelucrarea. Pentru etapa de măsurare este necesară înlocuirea sculei așchietoare cu un palpator ce va fi deplasat pe o traiectorie echidistantă la piesă.

În secvența de măsurare implementată în programul piesă se stabilește în mod convenabil o traiectorie a palpatorului aparatului de măsurare în cursul extragerii norului de puncte. Având în vedere faptul că palpatorul dispozitivului de măsurare este prevăzut cu o suprafață de palpare sferică, trebuie ca traiectoria centrului acestei suprafețe să fie o echidistantă la suprafața teoretică ce va fi explorată (vezi figura 7).

Dacă, de exemplu se urmărește măsurarea punctelor 1", 2", 3", atunci traiectoria programată a palpatorului trebuie să fie 1', 2', 3'.

Modelul matematic al mecanismului de măsurare va fi

$$x_m, y_m, z_m = f_x, f_y, f_z \left[X_m, Y_m, Z_m, (q_k)_{etalon} \right] \quad (2)$$

cu $m = \overline{1, N}$, unde $(q_k)_{etalon}$ sunt valorile (q_k) rezultate din etalonare.

După recoltarea norului de puncte aparținând piesei, are loc identificarea suprafețelor piesei prin minimizarea funcției obiectiv.

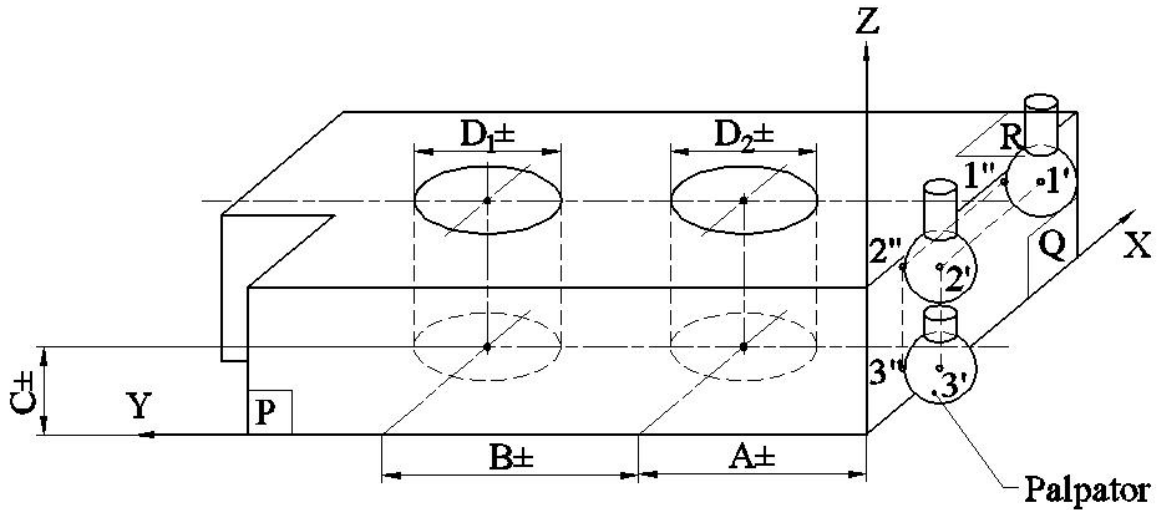


Fig. 7. Programul de explorare a piesei

Dacă funcția obiectiv este reprezentată de suma celor mai mici pătrate, aceasta va avea forma:

$$S_F = \sum_{i=1}^n \left\{ F \left[x_m, y_m, z_m, (p_i)_{real} \right] \right\}^2 \rightarrow \text{minim}, \quad (3)$$

în care p_i reprezintă deviațiile suprafeței reale în raport cu suprafața nominală.

Explorarea calibrului

Deplasarea săniilor mașinilor-unelte are loc cu anumite erori, ce pot fi determinate. Deși mișcarea motorului de deplasare al săniei este uniformă, datorită erorilor din lanțul cinematic de deplasare, sania se va mișca neuniform, rezultând erori de poziționare.

În scopul de a calibra sistemul de măsurare se realizează măsurarea unui calibru de tip riglă, ce va permite stabilirea erorilor de poziționare a săniei pe direcția respectivă.

Modelul matematic al etalonului de calibrare este

$$E(x, y, z) = 0. \quad (4)$$

Prin măsurarea etalonului are loc recoltarea a n puncte de pe suprafața riglei, X_e, Y_e, Z_e , cu $e = \overline{1, N}$ (vezi figura 8).

Urmează apoi ca, în etapa de identificare, epura erorilor să fie modelată cu ajutorul tehnicilor de identificare armonică.

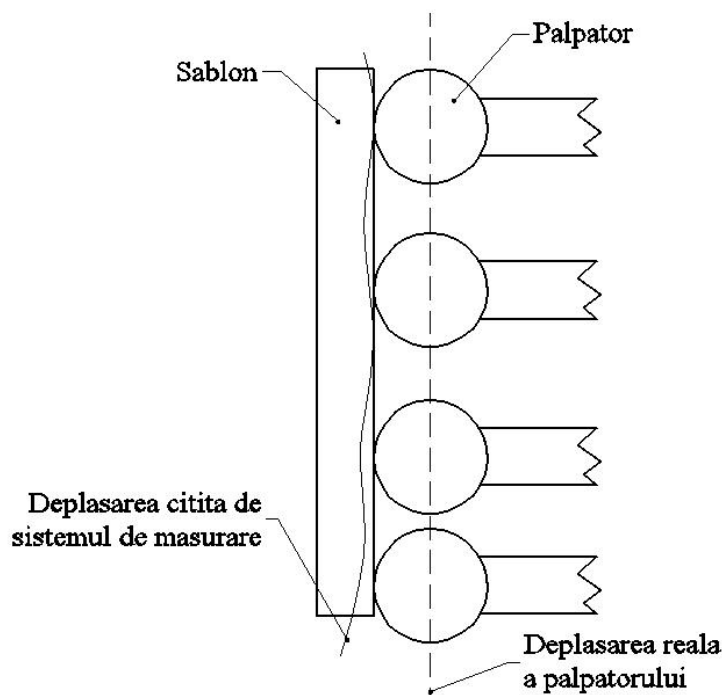


Fig. 8. Explorarea calibrului

Identificarea piesei

Ca formă generală, suprafața obiectului poate fi descrisă de ecuația parametrică

$$F(x, y, z, p_1, p_2, \dots, p_n) = 0, \quad (5)$$

unde p_1, p_2, \dots, p_n sunt parametrii modelului matematic al suprafeței reale. În particular, aceștia pot fi selectați astfel încât să reprezinte deviațiile ce vor fi folosite pentru a evalua conformitatea suprafeței reale cu cerințele tehnice.

Parametrii modelului reprezintă acele deviații ale suprafeței reale care sunt relevante pentru funcționarea piesei în exploatare și de aceea au limite impuse $(p_1, p_2, \dots, p_n)_{MAX}$ și $(p_1, p_2, \dots, p_n)_{MIN}$.

Suprafața nominală are ecuația

$$F(x, y, z, 0, 0, \dots, 0) = 0, \quad (6)$$

dată de condiția

$$p_1 = p_2 = \dots = p_n = 0. \quad (7)$$

Suprafața țintă la manufacturarea piesei este dată de ecuația:

$$F[x, y, z, (p_1, p_2, \dots, p_n)_{\text{țintă}}] = 0. \quad (8)$$

Parametrii modelului vor fi obținuți prin minimizarea funcției obiectiv, dată de ecuația (3), în care x_m, y_m, z_m sunt coordonatele punctelor din norul de puncte obținute prin măsurare.

În acest scop se folosește una dintre tehnicile de identificare prezentate anterior.

Identificare sistemului de măsurare

Identificarea sistemului de măsurare se face prin tehnica de identificare armonică.

În etapa de măsurare a calibrului au fost măsurate erorile care apar la deplasarea săniei în lungul fiecărei axe.

Aceste erori au fost modelate prin serii Fourier astfel încât este posibilă determinarea mărimii erorii în orice punct al deplasării. Astfel este posibilă determinarea corecției de măsurare (vezi figura 9).

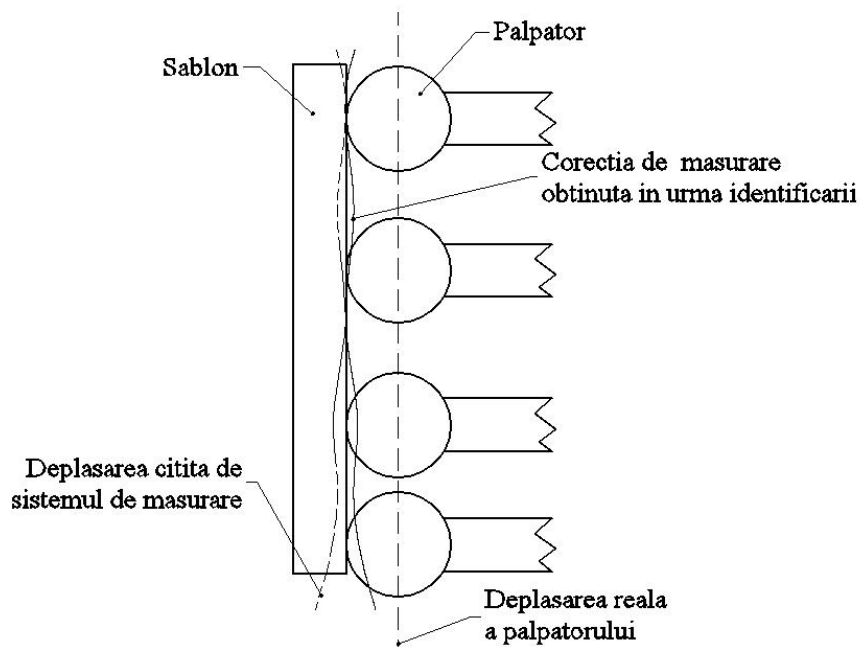


Fig. 9. Determinarea corecțiilor de măsurare

Pe parcursul prelucrării lotului de piese, atunci când se constată că, datorită gradientului termic, se modifică modelul, este suficientă determinarea din nou a erorilor doar în câteva puncte (mai puține decât la prima identificare), coeficienții seriei Fourier fiind apoi determinați prin modelare de ordinul doi.

Adaptarea modelului sistemului de măsurare

Adaptarea sistemului de măsurare se face prin stabilirea corecțiilor ce se vor aplica asupra indicațiilor sistemului de măsură în scopul de a corela aceste indicații cu realitatea. Indicațiile sistemului sunt date de ecuația

$$x_{mas.} = x_{trad.} + \Delta x, \quad (9)$$

în care $x_{mas.}$ reprezintă valoarea indicată, $x_{trad.}$ reprezintă deplasarea programată și citită de traductorul care controlează mișcarea respectivă, iar Δx este eroarea determinată prin identificare armonică.

Aplicând aceste corecții, sistemul de măsurare este calibrat și se elimină erorile datorate lanțului cinematic al sistemului de măsurare / prelucrare.

Adaptarea programului piesă

În scopul compensării erorilor, programul piesă este modificat astfel încât traiectoria țintă să se afle pe o linie ce reprezintă în oglindă traiectoria efectivă a sculei.

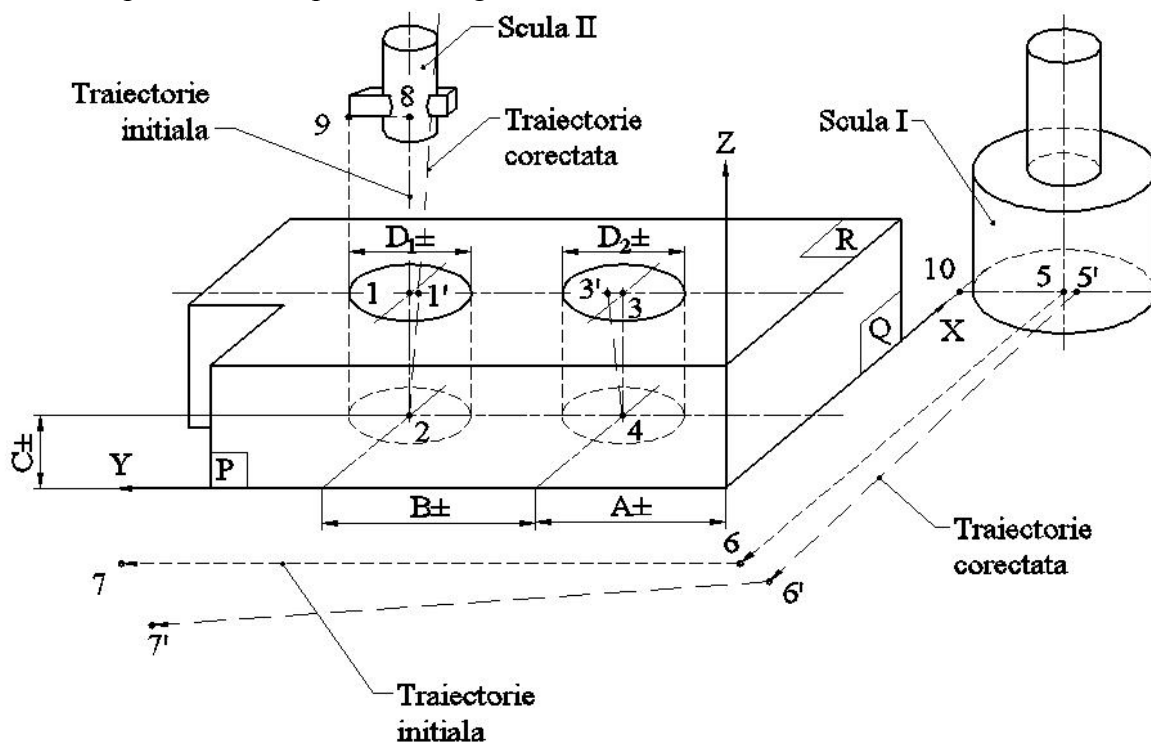


Fig. 10. Adaptarea programului piesă

În acest fel, traiectoriile sculelor vor fi modificate corespunzător punctelor 1'-2', 3'-4', și respectiv 5'-6'-7'.

Activitatea: Realizarea experimentală a sistemului

Pentru a verifica sistemul de conducere adaptiv / inteligentă a fost realizată o aplicație în care au fost parcurse etapele descrise anterior.

S-a ales o piesă cu suprafețe plane și cilindrice, și s-au stabilit abaterile dimensionale și de poziție care apar între suprafețele ei funcționale.

Ca suprafețe funcționale au fost considerate cele două alezaje cu diametrul de 100 mm (S1 și S2), și suprafața plană S0.

Au fost considerate ca fiind importante dimensiunile alezajelor, poziția lor față de suprafața plană S0, poziția față de planul yOz al sistemului de coordonate și distanța între axele alezajelor (vezi figura 11).

Parametrii ce descriu modelul piesei vor fi, în acest caz, cele două distanțe de la suprafața S0 la fiecare dintre cele două alezaje, cota pe axa Ox a axei alezajului S1, distanța între axele celor două alezaje, fiecare dintre diametrele alezajelor și unghiul relativ între axele celor două alezaje, în total 7 parametri.

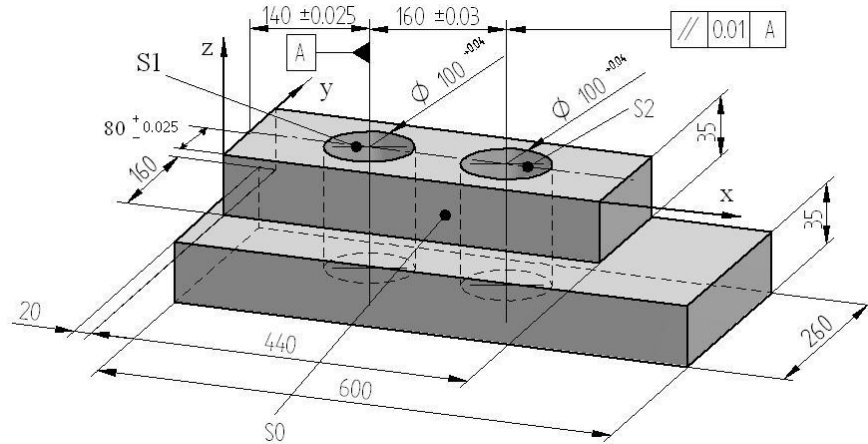


Fig. 11. Piesa analizată

Structura topologică analizată este formată din 2 suprafețe, reprezentate de cele două găuri cu diametrul de 100 mm.

Se poate considera că setul de parametri de conformitate este $\{y_{01}, \varphi_1, R_1, x_{02}, y_{02}, \varphi_2, R_2\}$, în care:

y_{01} este coordonata centrului găurii S_1 pe direcția axei Oy ;

φ_1 — rotația în jurul axei Ox a axei găurii S_1 ;

R_1 — raza reală a găurii S_1 ;

x_{02} — deplasarea centrului găurii S_2 față de centrul găurii S_1 pe direcția Ox ;

y_{02} — deplasarea centrului găurii S_2 față de centrul găurii S_1 pe direcția Oy ;

φ_2 — unghiul făcut de axa găurii S_2 față de axa găurii S_1 în planul yOz ;

R_2 — raza reală a găurii S_2 .

Pentru fiecare dintre suprafețele S_1 și S_2 au fost măsurate câte 25 de puncte în lungul unei elice cilindrice cu pasul constant.

La antrenarea rețelei neuronale fiecărui punct i s-a aplicat o transformare de coordonate într-un sistem de referință modificat cu parametrii de conformitate corespunzători și s-a calculat funcția f ca abatere a poziției punctului față de suprafața cilindrică respectivă:

$$f = (x + X_0)^2 + (y + Y_0)^2 - R_0^2, \quad (10)$$

în care X_0 și Y_0 sunt coordonatele teoretice ale centrului cercului director al suprafeței cilindrice și R_0 raza teoretică a acestui cerc.

Parametrii y_{01} , y_{02} , x_{02} , R_1 și R_2 au avut variații în domeniul ± 0.04 mm, iar parametrilor unghiulari φ_1 și φ_2 au avut variații în domeniul $\pm 0.025^\circ$.

În acest fel s-a obținut o bază de date cu $M = \prod_{i=1}^7 v_i = 3^7 = 2187$ înregistrări, fiecare

înregistrare având 57 de câmpuri (50 valori ale funcției f și 7 parametri în fiecare set de conformitate).

Ca parametri de corecție ai structurii topologice au fost considerate posibilitățile de deplasare ale a portsculei în direcțiile Oy și Oz (parametrii q_1 și q_2) și cea de rotire a corpului portsculă în jurul axei Ox (parametrul q_3 , vezi și figura 12).

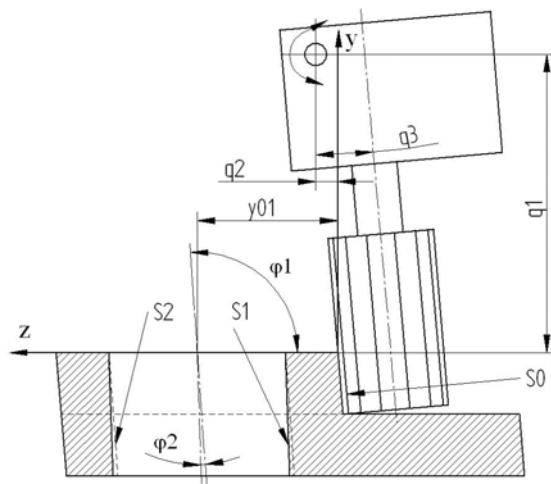


Fig. 12. Parametrii de corecție

Se poate remarca faptul că modificarea setului de parametri de corecție (q_1, q_2, q_3) va induce modificarea parametrilor de conformitate $y_{01}, y_{02}, \varphi_1$ și φ_2 . În tabelul 7 este prezentată precizia cu care rețeaua neuronală obține la interogare coeficienții din domeniul de antrenare.

Tabel 7

Parametrul	Real	Calculat	Eroare relativă
y_{01} [mm]	80.03000	80.03532	-0.00007
φ_1 [°]	-0.00030	-0.00025	0.16667
R_1 [mm]	50.01000	50.01338	-0.00007
x_{02} [mm]	160.02000	160.02361	-0.00002
y_{02} [mm]	-0.03000	-0.03151	-0.05033
φ_2 [°]	0.00025	0.00027	-0.08000
R_2 [mm]	49.98000	49.98331	-0.00007

Identificarea sistemului de măsurare

Sistemul de măsurare a fost identificat prin tehnica modelării armonice.

Această tehnică pornește de la premisa că deplasarea săniilor mașinilor-unelte are loc cu anumite erori, ce pot fi determinate. Deși mișcarea motorului de deplasare al săniei este uniformă, datorită erorilor din lanțul cinematic de deplasare, sania se va mișca neuniform, rezultând erori de poziționare.

În cazul unor date experimentale, determinate în $2m$ puncte, de tipul:

Punctul	x_1	x_2	...	x_{2m}
Valoarea măsurată	y_1	y_2	...	y_{2m}

aceste date pot fi modelate prin aproximare în serie Fourier.

Coefficienții seriei Fourier sunt dați de ecuațiile:

$$a_0 = \frac{1}{2m} \sum_{i=1}^{2m} y_i; \quad a_n = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{2m} y_i \cos\left(\frac{n \cdot i}{m}\right); \quad n = 1, 2, \dots, m; \quad (11)$$

$$b_n = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{2m} y_i \sin\left(\frac{n \cdot i}{m}\right), \quad n = 1, 2, \dots, m-1.$$

Cu acești coeficienți se obține modelul matematic al șirului de date măsurate, de forma:

$$f(k) = a_0 + \sum_{i=1}^{m-1} [a_i \cdot \cos(i \cdot x_k) + b_i \cdot \sin(i \cdot x_k)] + a_m \cdot \cos(m \cdot x_k); \quad k = 1 \div 2m. \quad (12)$$

După determinarea erorilor în diferite puncte, acestea pot fi modelate prin dezvoltare în serii Fourier, fiind astfel posibilă calcularea mărimii erorii în orice punct al deplasării. Mai mult, având în vedere că în timpul funcționării mașinii acesta este supusă unui gradient termic, ce va determina evoluția în timp a erorilor de poziție, a fost imaginată o metodă de modelare a coeficienților seriei Fourier (pe care am denumit-o modelare de ordinul doi). Astfel este posibilă modelarea erorilor cu un număr mai redus de coeficienți. Pentru verificare, a fost determinată eroarea în 101 de puncte în lungul cursei uneia dintre săniile mașinii-unelte. Pentru aproximarea în serii Fourier este nevoie de calculul a 102 coeficienți. Prin modelarea de ordinul doi această aproximare poate fi realizată cu numai 9 coeficienți în cazul unei variații liniare a erorii și respectiv cu 25 coeficienți în cazul în care eroarea are și o componentă sinusoidală.

În figura 13 este prezentat modelul erorii liniare (y), al erorii approximate prin modelare armonică în serie Fourier utilizând 9 coeficienți (f_2) și al erorii approximate prin modelare armonică de ordinul doi utilizând 9 coeficienți (f_m).

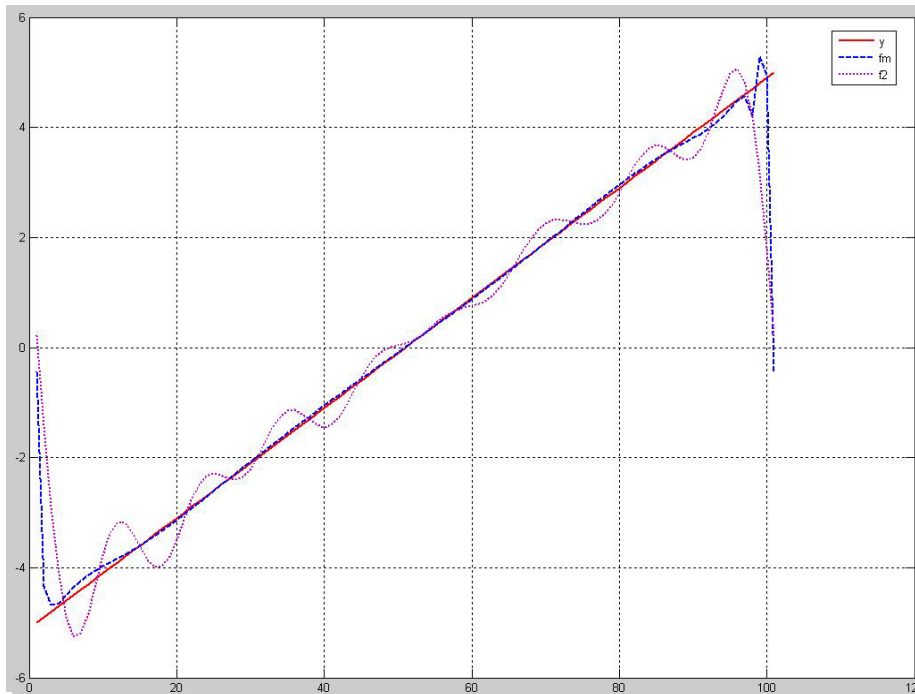


Fig. 13. Modelul erorii liniare (y), al erorii approximate prin modelare armonică în serie Fourier (f_2) și al erorii approximate prin modelare armonică de ordinul doi (f_m)

În figura 14 este prezentat modelul erorii cu componentă liniară și sinusoidală (y), al erorii aproximată prin modelare armonică în serie Fourier utilizând 9 coeficienți ($f1$) și al erorii aproximată prin modelare armonică de ordinul doi utilizând 9 coeficienți (fm).

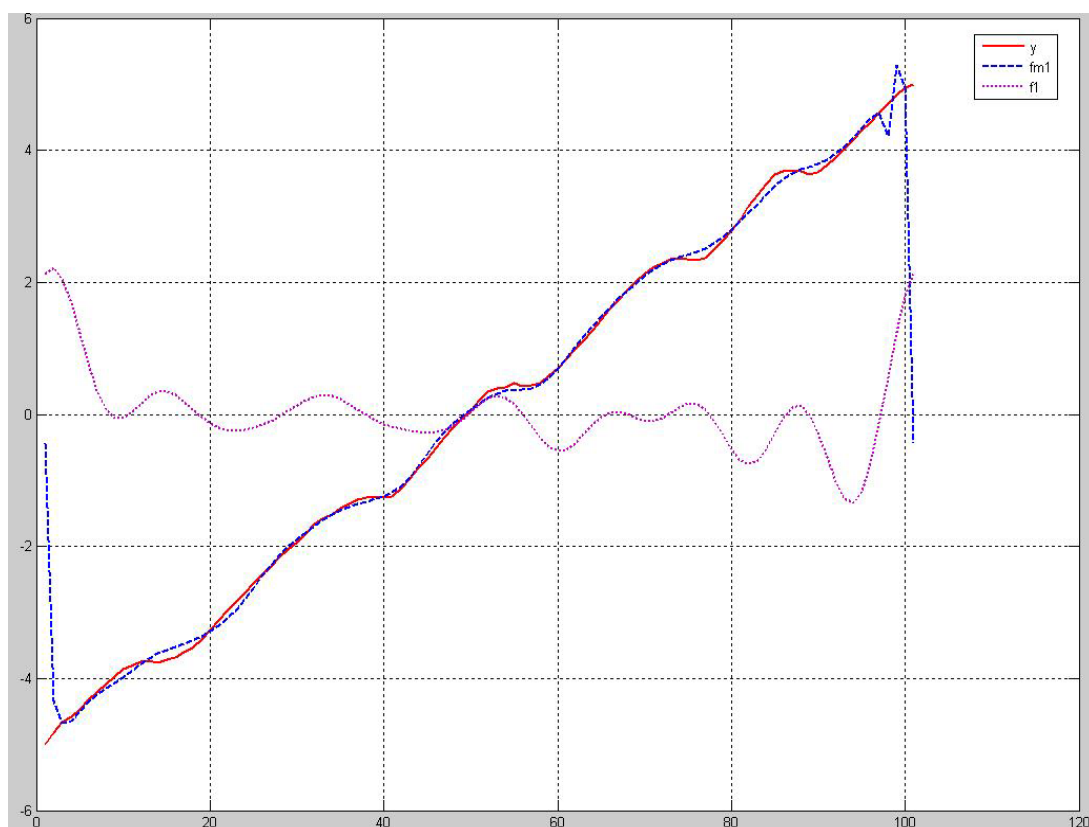


Fig. 14. Modelul erorii cu componentă liniară și sinusoidală (y), al erorii aproximată prin modelare armonică în serie Fourier ($f1$) și al erorii aproximată prin modelare armonică de ordinul doi (fm)

Este evident faptul că modelul obținut prin modelare armonică de ordinul doi este mult mai exact decât cel obținut prin modelare Fourier cu un număr redus de coeficienți.

Adaptarea programului piesă și a modelului sistemului de măsurare

Periodic, atunci când se constată că se produce deformarea sistemului de prelucrare sub acțiunea câmpului termic, se măsoară din nou calibrul, dar nu în toate cele 101 puncte luate în discuție în etapa inițială ci numai în 9 puncte, pe baza acestora realizându-se determinarea coeficienților seriei Fourier care modelează șirul erorilor de deplasare a săniilor. Astfel, se obține o importantă economie de timp, identificarea sistemului de măsură realizându-se prin măsurarea a numai câteva puncte de pe mașină.

După determinarea parametrilor de corecție ai modelului piesei, determinare realizată prin interogarea rețelei neuronale cu valorile determinate prin măsurare în cele 50 de puncte, programul piesă este corectat corespunzător acestor parametri.

În acest mod, traiectoria țintă nu va mai fi traiectoria teoretică a sculei ci o curbă care va reprezenta în oglindă suprafața reală prelucrată. În acest mod, erorile geometrice de prelucrare nu sunt diminuate ci sunt anulate.

Produse software realizate în scopul experimentării sistemului adaptiv inteligent de control dimensional

IDENTIF.PAS – software pentru identificarea ecuației unei suprafețe pe baza punctelor culese;

FITUIRE.M – identificarea unei structuri topologice utilizând algoritmi genetici;

SUP_CONJ.M – identificarea structurilor topologice utilizând rețele neuronale;

SUP_CONJ_C.M – determinarea parametrilor de corecție folosind rețele neuronale;

CREMALIERA.LSP – profilarea sculelor așchietoare reconfigurabile utilizând tehnica regenerării virtuale;

FOURIER.M – identificarea sistemului de măsurare utilizând tehnica de identificare armonică;

PLAN_NEURO.M – identificarea suprafețelor plane prin utilizarea rețelelor neuronale;

GENERARE_CILINDRU.M – identificarea suprafețelor cilindrice cu ajutorul rețele neuronale;

GENERARE_GENERAL.M - identificarea structurilor topologice complexe utilizând rețele neuronale;

Rezultate obtinute

Lucrări științifice elaborate

1. Cuzmin C., Teodor V., Oancea N., Marinescu V., Epureanu A., ***Dimensional dynamics identification of reconfigurable machine tools***. Proceedings of WSEAS European Computing Conference, Athens, GREECE, September 25-27, 2007 (indexata ISI)

Abstract: The paper presents a new method for online identification of the dimensional dynamics to be used for the dimensional control of reconfigurable machining systems. The dimensional control is designed as adaptive and predictive.

The dimensional control of the reconfigurable machining system is a key action in order to achieve the quality desired for the finite product. As a diminishing deviation presents the disadvantage that reducing deviations are accompanied by high costs, the deviation compensation implies a better control of the process.

The deviation compensation emerged during the working process requires knowledge of a model which describes the dimensional dynamics of the machine tool, which is the relation between the dimensional changing of the processed part and the parameters of the process. On the other hand the behavior of the machining system evolution changes significantly in time even during the processing of a small number of parts processed. This is the reason that dimensional dynamics must reveal the changing in time of the relation between dimensional variation of the parts and the process parameters.

Key-Words: - reconfigurable machine tools, online identification, dimensional dynamics, dimensional control

2. Epureanu A., Teodor V., Oancea N., Banu M., Marinescu V., *Method for On-Line Identification of Reconfigurable Machine-Tool Geometry Based on a Topological Neural Approach*, Journal of Manufacturing Science and Engineering (trimisă spre publicare) (indexata ISI)

Abstract: Este cunoscut faptul că mașinile-unelte cu comandă numerică pot fi utilizate ca mașini de măsurat în coordonate, dacă se înlocuiește scula cu un dispozitiv de palpăre adecvat.

La prelucrarea pieselor prin așchiere apar erori datorate atât procesului de așchiere cât și cinematicii mașinii-unelte pe care se face prelucrarea. Astfel se pot defini două tipuri de suprafețe: suprafața efectiv generată și o suprafață de referință, în raport cu care se face prinderea semifabricatului pe mașina de prelucrat.

În plus, în cazul real al prelucrării pieselor, între diversele suprafețe care compun aceste piese se precizează restricții specifice în ceea ce privește forma, dimensiunile sau poziția lor relativă.

Ne interesează identificarea suprafețelor reale generate, atât prin determinarea dimensiunilor și formelor acestora, cât și prin poziția în raport cu suprafața lor de referință.

În această lucrare este propusă o metodă constând în identificarea ambelor suprafețe, cea generată și cea de referință, în raport cu sistemul de referință propriu al mașinii-unelte și apoi transformarea coordonatelor din sistemului de referință global, al mașinii, în coordonate din sistemul de referință propriu al piesei. În acest mod se obține modelul matematic al suprafeței reale în raport cu suprafața de referință.

Identificarea suprafeței generate se face prin introducerea, în programul mașinii cu comandă numerică, a unei secvențe de măsurare, în cadrul căreia se realizează explorarea suprafeței prelucrate după o traiectorie stabilă. Această explorare se efectuează cu ajutorul unui dispozitiv de măsurare fixat pe mașina-unealtă cu comandă numerică

3. Epureanu, Al., Teodor, V., Dima, M., Oancea, N., *A Reconfigured Rack-Tool for Generation of Gears*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, transmisă spre evaluare; (indexata ISI)

Abstract: We consider that a responsive cost-effective manner to market dynamic changes can be obtained through the development of reconfigurable manufacturing systems (RMS) that quickly and effectively react to the demands of the competitive market due to the following set of characteristics: modularity, convertibility, integrability, scalability, diagnosability and customization.

The characteristic set which makes a RMS different is identified in a particular manner in every reconfigurable machine tool (RMT) belonging to the system structure. The typical structure of reconfigurable machine tool includes the following basic components: the assembly of the modules that ensures the needed active and passive degrees of freedom, work piece, tooling and fixturing. The set of these six main characteristics specific to the RMS is presented in a particular form at RMT level and at each of its basic components.

In this paper we present a rack-gear cutter that satisfies the reconfiguration requirements and a virtual manufacturing based technique for its improved reconfiguration.

It is accepted that the value of the main cutting force depends on the cutting area thickness (the geometrical area of the chip detached by the active cutting edges assembly of this kind of tools at one pass). In this paper it is proposed a model of the cutting schema made through Visual Basic Applications programming environment, for the creation of new constructive forms of the cutting tools that lead to an undeformed chip cross section adjustable to the machined wheel teeth number, in order to reduce the teething cutting force.

It is proposed a criterion for the undeformed chip cross section characterization, which allows the comparison of chip area value variation at modeling of the cylindrical wheel generation. Based on the synthesis of the new calculations of the undeformed chip cross section and considering the teething process and the teeth number of the generated wheel, are presented constructive solutions for reconfigurable rack tools.

Keywords: Virtual Manufacturing, Reconfigurable tool, Rack-cutter

4. Teodor V., Epureanu A., Cuzmin C., *Method for Identification of Geometric Feature Family Based on Genetic Algorithm and Neural Approach* Proceedings of WSEAS EUROPEAN COMPUTING CONFERENCE, Athens, Greece, September 25-27, 2007 (indexata ISI)

Abstract: In the mechanical systems the dimensional, shape and position deviations of the components surfaces represent very important attributes in quality assessment. This is why the technical specifications include a large number of requirements regarding these attributes.

In present the verification of these requirements is based on measuring the coordinates of points belongs to the component surface. After the points coordinates are obtained the numerical model of surface is fitted.

Finally the numerical models are used to evaluate the actual dimensions of feature, to compare these dimensions with the model dimensions and to check the tolerances. Due of this cause emerges some uncertainty regarding the dimensions like distance between two planes which are not actual parallel.

This is why is needed the grouping in families of the component surfaces, the obtaining of points cloud coordinates for each surface and the family coherent model instead of individual modeling for each surface.

On the other hand, the quality junction between two assemblies components is given by the compatibility degree between surfaces belong to one piece and the conjugated surfaces belong to the other piece which form the junction.

In this paper are proposed two methods for geometric feature family identification (using genetic algorithm and using neural networks) for better evaluation of surfaces deviations.

Keywords: - genetic algorithm, neural network, surface identification

5. Cuzmin C., Frumusanu G., Marin F.B., Paunoiu V., Cuzmin G., Epureanu A., ***Adaptive Dimensional Control System for Reconfigurable Machine-Tools.***, Vol. 1, Universitatea Tehnică a Moldovei, ISBN 978-9975-45-035-1, TCMR International Conference, Chisinau, 2007

Abstract: The paper is presenting a method for online identification of the dimensional dynamics to be used for dimensional control of reconfigurable machining systems. The dimensional control is a key action in order to achieve quality desired for finite product. As diminishing deviation is accompanied with high costs: deviation compensation seem to be a better control of the process.

6. Constantin I., Marinescu V., Epureanu A., Cuzmin C., Marin F. B., ***A modular manufacturing control system***, TCMR International Conference, Chisinau, 2007, ISBN 978-9975-45-035-5, pag. 301-306

Abstract: This paper proposes a modular manufacturing system structure. The key concept is to modularize the machines, the auxiliary equipment and finally the plant. In architecture, each module had a set of configuration parameters used by the main module of each sub-structure. The multi processor structure allows the production facility to adapt itself to the production task.

7. Marin F. B., Constantin I. C., Marinescu V., Cuzmin C., Epureanu A., ***Development of reconfigurable software module for CNC machine tools***, TCMR International Conference, Chisinau, 2007, ISBN 978-9975-45-035-5, pag. 265-269

Abstract: After reconfiguration process the new hardware architecture implies also software architecture changing. Reconfigurable machine tools performance is determined most by ramp-up-time. O important part of this is the time needed for software reconfiguration. This paper presents a reconfigurable interpreter, developed as new software approach, which provide a fast software reconfiguration to be operated by the user of the machine. The interpreter design methodology and corresponding software presented in the paper was developed at the "Dunarea de Jos" University – Galati. Results achieved confirmed the efficiency of this approach.

Keywords: reconfigurable machine tools, open-architecture, interpreter, condition instructions set

8. George C. BALAN, Alexandru EPUREANU, Ciprian CUZMIN, ***The monitoring of a lathe using an artificial neural network- 5th part (recordings spectral analysis, use of ANN on monitoring of the tool wear***, SISOM 2007 and Homagial Session of the Commission of Acoustics, Bucharest 29-31 May

Abstract: The study of machine-tool dynamic is realized here as “monitoring”, meaning checking and improving the functioning of the machine. The state of processing is followed by certain sensors whose signs are processed inside the computer and then it takes the decision of monitoring, meaning the identification of a class from the set of

classes (process conditions). In this part of the paper there are presented recordings spectral analysis and use of ANN on monitoring of the tool wear.

Keywords: monitoring, lathe, spectral analysis, ANN

9. George C. BALAN, Alexandru EPUREANU, Ciprian CUZMIN, ***The monitoring of a lathe using an artificial network – 6th part (statistics, monitoring, fuzzy C-means methos)***, SISOM 2007 and Homagial Session of the Commission of Acoustics, Bucharest 29-31 May

Abstract: The study of machine-tool dynamic is realized here as “monitoring”, meaning checking and improving the functioning of the machine. The state of processing is followed by certain sensors whose signs are processed inside the computer and then it takes the decision of monitoring, meaning the identification of a class from the set of classes (process conditions). In this part of the paper there are presented statistics, monitoring and fuzzy c-means method.

Keywords: monitoring, lathe, ANN

10. Cuzmin, C., Cuzmin, G., Epureanu, Al., ***Internal Gear Cutting Generation with Toroidal Hob***, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, transmisă spre evaluare; (indexata ISI)

Abstract: Hobbing is a productive procedure for external gear processing, but is not commonly used with internal gears, this is mainly because there is no hob able of internal gear cutting by generation. The paper advances a construction principle of the toroidal hob intended for internal gear cutting by generation (not by copying), similarly with the external gears. The profile of toroidal hob teeth is an involute and materializes the profile of a virtual spur gear. The paper presents the construction of a relieving machine intended for the preparation of the toroidal hob. This achieves the profiling of the toroidal hob teeth by means of an imaginary reference rack, which flank are processed by means of an abrasive tool. Thus a hob is obtained which, by repeated sharpenings, don't alters its profile so as to materialize, without approximations, the flanks of an external virtual gear. In order to validate the construction principle of the toroidal hob and the generating principle of the hob using the relieving machine (also presented in the paper) virtual machining is resorted to. The profile of the internal gear, virtually machined in compliance with the principles advanced in the paper, is compared with its theoretical profile. The differences between the two profiles were small and well within the calculation range implying that the generation principles are correct.

Keywords: Hob; Internal gear; Virtual machining

11. Epureanu, A., Teodor V., Cuzmin, C., ***Identificarea suprafețelor utilizând metoda “soluției de start”***, În: Număr tematic special al publicației Analele Universității „Dunărea de Jos” din Galați, Fasc. V, anul XIX (XXIV), 57, 2007, ISSN 1221-4566, pag. 77, (indexata BDI);

Abstract: În aplicarea metodei „soluției de start” se pornește de la faptul că la generarea unei suprafețe vor apare abateri atât ca poziție cât și ca formă față de suprafața

teoretică. Aceste abateri sunt dificil de stabilit cu mijloace obișnuite. În lucrare se propune căutarea exhaustivă a valorilor parametrilor modelului matematic într-un spațiu restrâns, în jurul unui set de valori cunoscut aprioric (soluția de start), valori care determină similitudinea optimă între model și elementul real.

Premisa de bază a acestei tehnici este *singularitatea extremelor* în spațiul de căutare. Putem afirma că această premisă este reală datorită spațiului restrâns în care se face căutarea, ceea ce face ca metoda să fie convergentă.

La aplicarea acestei metode este necesară culegerea unui „nor de puncte” cu ajutorul sistemului de fabricație reconfigurabil, care va fi utilizat în acest caz ca mașină de măsurat, după care se caută poziția și forma suprafeței teoretice care va aproxima în mod optim suprafața reală.

Pentru exemplificarea tehnicii de identificare, în prezenta lucrare, a fost simulată generarea unei suprafețe cilindrice, care prezintă abateri de poziție, dimensiuni și formă față de o suprafață cilindrică teoretică ce este cunoscută. Este evidențiată identitatea între rezultatele obținute și erorile induse inițial, ceea ce confirmă convergența și viabilitatea tehnicii utilizate.

Keywords: identificarea suprafețelor, soluția de start, căutare exhaustivă.

12. Epureanu, A., Teodor V., Cuzmin, C., **Identificarea seturilor de suprafețe utilizând algoritmi genetici**, În: Număr tematic special al publicației Analele Universității „Dunărea de Jos” din Galați, Fasc. V, anul XIX (XXIV), 57, 2007, ISSN 1221-4566, pag. 83, (indexata **BDI**);

Abstract: Dacă suprafețele ce urmează a fi identificate trebuie considerate în ansamblul lor, cum este cazul suprafețelor ce formează ajustaje, sau care trebuie să îndeplinească anumite condiții de formă și poziție pentru a se putea realiza asamblarea, așa cum se întâmplă în mod normal în procesele de manufacturare, nu este suficientă identificarea separată a formei și poziției fiecărei suprafețe, ci este nevoie ca acestea să fie privite ca un set de suprafețe.

Tehnica de identificare genetică, prezentată în această lucrare, permite analizarea unui model complex, format din seturi de suprafețe care trebuie să respecte restricții referitoare la pozițiile relative ale suprafețelor respective. În acest caz funcția obiectiv este dată de ansamblul ecuațiilor suprafețelor și a ecuațiilor care modelează relațiile reciproce dintre acestea.

Pentru identificarea suprafețelor a fost utilizată tehnica algoritmilor genetici, în mediul de calcul MATLAB, fiind imaginat și aplicat un model de calcul pentru determinarea parametrilor ecuațiilor ce descriu suprafețele de identificat. A fost analizat cazul unui triedru, ale cărui plane nu sunt reciproc perpendiculare.

Ca funcție obiectiv a fost utilizată valoarea sumei pătratului distanțelor punctelor față de planurile sistemului de referință. Prin algoritmul genetic utilizat s-a urmărit minimizarea funcției obiectiv, rezultând valorile parametrilor modelului matematic ce realizează aproximarea optimă a suprafețelor reale.

Sunt evidențiate rezultatele exacte obținute prin această metodă.

Keywords: identificarea suprafețelor, algoritmi genetici, seturi de suprafețe.

13. Epureanu, A., Teodor V., Cuzmin, C., **Identificarea armonică a geometriei unei mașini-unelte**, În: Număr tematic special al publicației Analele Universității „Dunărea de Jos” din Galați, Fasc. V, anul XIX (XXIV), 57, 2007, ISSN 1221-4566, pag. 89, (indexata **BDI**);

Abstract: Se cunoaște faptul că deplasarea săniilor mașinilor-unelte are loc cu anumite erori, ce pot fi determinate. Deși mișcarea motorului de deplasare al săniei este uniformă, datorită erorilor din lanțul cinematic de deplasare, sania se va mișca neuniform, rezultând erori de poziționare.

Metoda de identificare armonică prezentată în această lucrare pornește de la determinarea erorilor de poziționare în diferite puncte ale traiectoriei săniilor, după care are lor modelarea erorilor prin dezvoltare în serii Fourier, fiind astfel posibilă calcularea mărimii erorii în orice punct al deplasării.

Mai mult, având în vedere că în timpul funcționării mașinii acesta este supusă unui gradient termic, ce va determina evoluția în timp a erorilor de poziție, a fost imaginată o metodă de modelare a coeficienților seriei Fourier (pe care am denumit-o modelare de ordinul doi). Astfel este posibilă modelarea erorilor cu un număr mai redus de coeficienți.

În lucrare este pus în evidență faptul că modelul obținut prin modelare armonică de ordinul doi este mult mai exact decât cel obținut prin modelare Fourier cu un număr redus de coeficienți.

Keywords: identificare armonică, modelarea erorii, modelare de ordinul doi.

Elaborare monografii

1. Epureanu A., Marinescu V., Oancea N., Banu M., Teodor V., Cuzmin C., Marin F.B., Constantin I., Reconfigurable machining systems control, Denbridge Press publishing house, SUA,(210 pagini), 2007, in curs de publicare.

Cuprins:

- Cap1 Reconfigurable machining systems. Definitions. Structure. Core characteristics.
- Cap2. Part surfaces generation
- Cap.3 Modeling and identification of reconfigurable machining systems
- Cap 4 Control of surface roughness and physical properties
- Cap 5. Dimensional control
- Cap.6 Stability control
- Cap.7 Costs control
- Cap.8 Reconfigurable machining systems programming
- Cap.9 Optimal control algorithms
- Cap.10 Adaptive-intelligent control algorithm

Resume:

Responsiveness to dynamic market changes in cost-effective manner is becoming a key success factor for any manufacturing systems in today's global economy. Reconfigurable manufacturing systems (RMS) have been introduced to react quickly and effectively to such competitive market demands through modular and scalable

design of manufacturing systems on the system level as well as the machine components' level.

One of the grand challenges identified in the Visionary Manufacturing Challenges for 2020 Report (VMC 2020) is to “reconfigure manufacturing enterprises rapidly in response to changing needs and opportunities”. Reconfigurable manufacturing systems are a new class of manufacturing systems aiming at combining the high throughput of dedicated manufacturing lines with the flexibility of flexible manufacturing systems. An RMS can simultaneously manufacture a large variety of product types in unpredictable quantities while maintaining mass production efficiency.

Reconfigurable manufacturing systems aim at:
reducing lead time for launching new systems and reconfiguring existing systems rapid modification and quick integration of new technologies and/or new functions into existing systems basic process modules (hardware and software) that would be rearranged quickly and reliable.

Open architecture control (reconfigurable software) and modular machines (reconfigurable hardware) are key enabling technologies for RMS.

For manufacturing system to be readily reconfigurable, the systems must possess certain key characteristics including: 1) modularity of component design; 2) convertibility to allow quick changeover between modules; 3) integrability into existing systems; 4) diagnosability to identify quickly the sources of quality and reliability problems; 5) customization to match designed system capability and flexibility to application and 6) scalability to incrementally change capacity rapidly and economically. The need and rationale for RMS are arises from unpredictable market changes that are occurring with increased pace during the recent years. This changes include:

- increasing frequency introduction of new products;
- changes in parts for existing products;
- large fluctuations in product demand and mix;
- changes in government regulations (safety and environment) and changes in process technology.

Reconfigurable machining systems are radically new, self-adaptive machine structures with online self-optimisation based on mechatronic concepts. The knowledge-based intelligent modules can feature multi-layer control, sensing and actuator structures with a high level of redundancy which guarantees a high level of reliability and allows optimal performance of a production system under different conditions.

In the book are presented tools and methods for an adaptive, mechatronic manufacturing system and components modelling, control, set-up and use, and applications of their usage in machines and production systems.

The book is expected to be useful for component manufacturers and OEMs (Original Equipment Manufacturers) for ensuring market take-up of the new technologies as well as experts from industry and academia interested on the book theme.

The book impact could be:

- i)* developing of the new generation of machine tools helping instrument manufacturers and machine builders to stay ahead of the competition through;

- ii) reduction of time needed for reconfiguration and maintenance;
- iii) yielding a significant increase in productivity for small batch production and
- iv) a better process control allowing a considerable reduction in resources consumption (both energy and raw materials).

New generation of products helping European instrument manufacturers and machine builders to stay ahead of the competition. Reduction of time needed for reconfiguration and maintenance, yielding a significant increase in productivity for small batch production. Better process control allowing a considerable reduction in resources consumption (both energy and raw materials).

Brevetarea rezultatelor stiintifice

1. Epureanu A., Marinescu V., Ghita E., Oancea N., Teodor V., Banu M., **Robot reconfigurabil de masurare** - Dosar Nr. A 00627/06.09.2007
2. Epureanu A., Dima M., Teodor V., Eugen G., Oancea N., **Dispozitiv pentru realizarea arborilor poliformi cu aplicatie la masinile reconfigurabile**- Dosar Nr. A 00575/13.08.2007
3. Cuzmin C., Epureanu A., Banu M., Teodor V., Marinescu V., Marin F. B., **Metoda si echipament de conducere dimensionala bazata pe monitorizarea campului termomecanic** - Dosar Nr. A 00255/12.04.2007
4. Cuzmin C., Epureanu A., Cuzmin G., Banu M., Marinescu V., Oancea N., **Freza-melc modul toroidala pentru prelucrarea danturilor cilindrice interioare si exterioare cu dinti drepti si inclinati** - Dosar Nr. A 00254/12.04.2007
5. Cuzmin C., Epureanu A., Oancea N., Marinescu V., Banu M., **Strung universal reconfigurabil** - Dosar Nr. A 00577/13.08.2007
6. Epureanu A., Teodor V., Cuzmin C., **Metodă și echipament pentru controlul adaptiv-armonic al sistemelor de fabricație reconfigurabile** – în curs de brevetare
7. Epureanu A., Teodor V., Cuzmin C., **Metodă și echipament pentru controlul adaptiv-topologic al sistemelor de fabricație reconfigurabile** – în curs de brevetare
8. Epureanu A., Cuzmin C., Teodor V., **Metodă și echipament pentru controlul adaptiv-integrat al sistemelor de fabricație reconfigurabile** – în curs de brevetare
9. Epureanu A., Teodor V., Cuzmin C., **Metodă și echipament pentru controlul inteligent-bazat pe vecinătăți al sistemelor de fabricație reconfigurabile** – în curs de brevetare

Teze de doctorat

1. Marin Florin Bogdan, **Modelarea holonica a cinematicii sistemelor de prelucrare reconfigurabile**, Teza de doctorat, in curs de derulare
2. Valeriu Petrus, **Cercetari privind conducerea dimensionala a sistemelor tehnologice reconfigurabile**, Teza de doctorat, in curs de finalizare.
3. Ionut Constantin, **Sistem adaptiv de conducere dimensionala cu aplicatii la masinile unelte reconfigurabile** , Teza de doctorat, in curs de derulare.

Realizare prototipuri

1. **Sistem adaptiv inteligent de control dimensional**, implementat la un strung frontal, cu următoarele caracteristici:
 - modelare, identificare și simulare on-line a dinamicii procesului de prelucrare;
 - identificarea on-line a cinematicii.

Propuneri de proiecte transmise la programe internationale

1. Proiectul european REHOLM, call identifier:FP7-NMP-2007-SMALL-1, intitulat ***Development of robotic-smart machines for batch industrial production in open-ended and rapid changing real-market environments, with application in design of the next generation of machining systems***, Proposal No: CP-FP 213288-1, elaborat de Universitatea “Dunarea de Jos” Galati
2. Proiectul european INTELIDEF, call identifier:FP7-NMP-2007-SMALL-1, intitulat ***Developing a new generation of metal forming systems characterized by intelligent control based on the online capturing of knowledge and its use in decision-making***, Proposal No: CP-FP 214578-1, elaborat de Universitatea “Dunarea de Jos” Galati și Universitatea “Lucian Blaga” din Sibiu.

Parteneriate nou create

1. Acord de parteneriat stabilit între RIKEN Research Institute Tokio, Japonia, reprezentat de Dr. Akitake Makinouchi, Program Director, VCAD System Research Program, și Universitatea “Dunarea de Jos” din Galati, reprezentata de Prof. Dr. Ing. Nicoale Oancea, Directorul Centrului de Cercetari IT-CM, la data de 24 Mai 2007. Corespunzător acordului de parteneriat prima acțiune va consta în desfășurarea unui doctorat în cotutela condus de Prof. Dr. Ing. Alexandru Epureanu și Prof. Dr. Akitake Makinouchi, doctorand cu frecvență Susac C. Florin, tema “Modelarea și conducerea sistemelor de turnare reconfigurabile”, perioada de doctorat 2007-2010.

Agreement for International Joint Graduate School Program
between
RIKEN and UNIVERSITY OF GALATI "DUNAREA DE JOS"

RIKEN and UNIVERSITY OF GALATI "DUNAREA DE JOS" (hereinafter referred to as "UGAL"), being convinced that education and research collaboration between RIKEN and UGAL (hereinafter referred to as the "Parties") would both enrich the UGAL graduate course and effectively promote RIKEN research activities, hereby make the following Agreement (hereinafter referred to as the "Agreement").

Article 1: International Joint Graduate School Program
The Parties shall establish an International Joint Graduate School Program (hereinafter referred to as the "Program") to identify and foster talented young scientists capable of contributing to future research collaboration not only between RIKEN and UGAL, but also between Japan and Romania in the field of science and technology, as well as contributing to the advancement of science for the international society at large.

Article 2: Appointment of Visiting Professor/Associate Visiting Professor
2.1 UGAL, upon written recommendation of a candidate by RIKEN, shall appoint a RIKEN scientist as a UGAL Visiting Professor. If necessary, UGAL can appoint a RIKEN scientist as an Associate Visiting Professor.

2.2 The term of Visiting Professor and Associate Visiting Professor shall be for one year and renewable for the duration of the Agreement, unless either Party wishes to terminate the appointment earlier by written notice.

2.3 The Visiting Professor and Associate Visiting Professor may stay at UGAL relating to the Program during this Agreement.

2.4 The Visiting Professor and Associate Visiting Professor shall be subject to all UGAL Rules and Regulations for the duration of their stay at UGAL.

2.5 UGAL may invite the Visiting Professor or Associate Visiting Professor for a series of lectures or seminars to graduate students at UGAL during his/her visit to UGAL.

2.6 The Visiting Professor or Associate Visiting Professor shall be appointed as joint supervisor for the Program Student to the Ph.D program.

2.7 The application and selection procedure for the Ph.D program at UGAL shall be applicable in the selection of the Program Student. The Visiting Professor or Associate Visiting Professor shall participate in the selection process.

Article 3: Designated Academic Staff


3.1 UGAL shall appoint an academic staff of UGAL as a co-supervisor(s) (hereinafter referred to as the "Designated Academic Staff") to supervise the graduate student in his/her doctoral course who participates in this Program (hereinafter referred to as the "Program Student").

Each Party shall sign two copies of this Agreement, one of which shall be kept by RIKEN and the other one by UGAL.


For UGAL:

For RIKEN:


Viorel Minzu
Date: 28.05.2007


Prof. Ryoji Noyori
President
Date: May 17, 2007

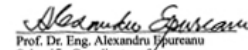
WITNESSED BY:


Prof. Dr. Eng. Nicolae Oancea
Director of the Research Center


Dr. Akitake Makinouchi
Program Director,
VCAD System Research Program

Date: May 24, 2007

Date: May 21, 2007


Prof. Dr. Eng. Alexandru Ispureanu
Scientific Coordinator of
Manufacturing Science and
Engineering Research Center

Realizare de produse software

Au fost concepute noi metode de identificare, pentru care s-a realizat un pachet de programe pentru identificarea geometrica și cinematică

Identificare geometrică:

Programe pascal

- PLAN.PAS – determinarea coeficienților ecuației unui plan determinat prin 3 puncte;
- COEF.PAS – determinarea coeficienților ecuației care fituiește un nor de puncte dintr-un plan;
- EC-PL.PAS – determinarea ecuației unui nor de puncte aflate într-un plan;
- FIT-2PL.PAS – fituirea a două plane;
- FIT-TRI.PAS – fituirea unui triedru;
- IDENTIF.PAS – identificarea ecuației unui cilindru pe baza punctelor de pe el;
- ID_ELIPS.PAS – determinarea necilindricității unui nor de puncte;
- ID_CON.PAS – determinarea conicității unui nor de puncte;

Programe MatLab

- FITUIRE.M – fituirea unui triedru prin algoritmi genetici;
- SUP_CONJ.M – identificarea suprafețelor prin rețele neuronale;
- SUP_CONJ_C.M – identificarea corecțiilor prin rețele neuronale;

Identificare cinematică:

Programe MatLab

- CREMALIERA.M – profilarea sculei cremalieră reconfigurabile;
- FITUIRE-PL1.M – fituirea unui plan prin algoritmi genetici;

FOURIER.M – determinarea coeficienților seriei Fourier care aproximează un șir de date experimentale;

PLAN_NEURO.M – identificarea unui plan utilizând rețele neuronale;

GENERARE_CILINDRU.M – identificarea unui cilindru utilizând rețele neuronale;

GENERARE_PLAN.M - identificarea unui plan utilizând rețele neuronale;

GENERARE_GENERAL.M - identificarea unui ansamblu de suprafețe (cilindru+plan) utilizând rețele neuronale;

Programe Lisp

CREMALIERA.LSP – determinarea avansului variabil astfel încât să se asigure o anumită valoare a secțiunii așchii nedetașate.

Programe noi de formare continua

1. Curs postuniversitar de perfectionare intitulat “**Sisteme de prelucrare reconfigurabile- concepte de proiectare**”, Centrul de Formare Continua si Transfer Tehnologic (CFCTT) al Universitatii “Dunarea de Jos” din Galati.

Numarul total de ore: 56.

Structura cursului

Modulul 1: Sisteme tehnologice reconfigurabile

Modulul 2: Conceperea arhitecturii hardware si software a sistemelor reconfigurabile de fabricatie

Modulul 3: Conducerea sistemelor tehnologice reconfigurabile.

2. Curs postuniversitar de perfectionare intitulat **Utilizarea calculatorului in conducerea sistemelor tehnologice, cu aplicatii la sistemele reconfigurabile**, desfasurat la MITAL STEEL Galati, 56 ore, 16 credite, 34 cursanti, perioada 3.09-20.11.2007.

Dezvoltarea unor programe si cursuri noi de nivel universitar sau postuniversitar

1. Masterat francofon, in domeniul sistemelor eficiente de prelucrare a materialelor cu specializarea **Inginerie tehnologice asistate de calculator**, 1.5 ani, in colaborare cu Universitatea Paris 13.

2. Curs universitar, **Sisteme flexibile de fabricatie**, anul III, Roboti Industriali.

3. Curs universitar, **Modelarea sistemelor mecatronice**, anul III, Mecatronica.

4. Curs de master, **Optimizare cu algoritmi genetici**, anul II, Modelare numerica a sistemelor mecanice si tehnologice

Consultanta si asistenta tehnica

Intreprinderile care au beneficiat de consultanta:

1. S.C. CELPI S.A. Bucuresti,
2. S.C. Electromontaj Bucuresti,
3. S.C. EDIL-MECANICA S.A., Filipestii de Padure,
4. World Machinery Works S.A. Bacau.

Tehnologii noi realizate si implementate in industrie

1. ***Tehnologie bazata pe ICT de conducere dimensionala***, implementata la masinile FICEP-20.36-NT, FICEP-16.34-NT, FICEP-803-PN, VERNET-PG-116 S de la S.C. CELPI S.A. Bucuresti.
2. ***Tehnologie de conducere dimensionala adaptiva***, implementata la masinile FICEP-14.15 DCA (2 buc.), FICEP LPA 15, la S.C. EDIL-MECANICA S.A. de la Filipestii de Padure.
3. ***Tehnologie de conducere dimensionala predictiva***, in curs de implementare, la masinile FICEP 14.15 DCA (2 buc.), FICEP 20.36 NT, VERNET-PG-137 S de la Electromontaj Bucuresti.

Efecte multiplicatoare

1. Căpățină, N., Mihăluță, M., Teodor, V., *Module Worm Cutter with Active Surfaces Generated by Continuous Sharpening*, Analele Universității „Dunărea de Jos” din Galați, Fasc. V, 2007, în curs de publicare;

5. Concluzii

Daca sistemul de manufacturare este reconfigurabil, atunci câmpul erorilor suprafeței virtuale *se modifica în urma reconfigurării*. Prin aplicarea tehnicilor de identificare on-line apare posibilitatea de a determina modelul câmpului erorilor și, astfel, de a acționa pentru reducerea acestor erori.

Tehnicile de identificare geometrică și cinematică a sistemului permit modelarea evoluției sistemului în timp, permițând astfel analiza predictivă a erorilor și stabilirea măsurilor necesare pentru minimizarea acestor erori.

Cercetările întreprinse în cadrul acestui proiect au permis evidențierea următoarelor aspecte:

- a) Câmpurile de natura termo-mecanică ce se instalează în sistemele de manufacturare au unele particularități (cum ar fi *coerența*), care generează proprietăți

specifice și tehnici de manipulare, de asemenea specifice. Acest lucru face posibilă utilizarea tehnicilor de identificare bazate pe coerența dinamicii.

c) Pentru procesarea semnalelor obținute de la senzori, în vederea folosirii acestora pentru identificarea sistemului de manufacturare, pot fost aplicate *tehnici specifice inteligenței artificiale* (rețele neuronale, algoritmi genetici).

d) Măsurarea, în afara sistemului de manufacturare, a obiectului prelucrat este un simplu act de constatare privind respectivul obiect; pentru controlul dimensional al acestuia este în plus necesară o intervenție, în scopul modificării respectivei stări, prin reluarea procesului de generare a obiectului, ceea ce determină timp și costuri suplimentare importante. Prin utilizarea tehnicilor de identificare on-line este posibilă creșterea preciziei de prelucrare de până la 5 ori, fără mărirea semnificativă a timpului și costurilor de prelucrare.

e) Cu excepția tehnicii bazate pe modele ARMA, celelalte tehnici pot fi considerate ca satisfăcătoare în caz general, fiecare tehnică demonstrând performanță în anumite cazuri concrete. De aceea este utilă folosirea tuturor tehnicilor dezvoltate în această lucrare, dar este necesară găsirea domeniului de performanță pentru fiecare în parte;

f) În cazul mașinilor-unelte reconfigurabile, aplicarea acestor tehnici conduce la o reducere deosebit de importantă a valorii medii a erorii;

6. Bibliografie

[1] Damodarasamy, S., Anand, A., *Evaluation of minimum zone for flatness by normal plane method and simplex search*, IIE Transactions, 1999, pag. 617-626;

[2] Segonds, S., Landon, Y., Mousseigne, M., Lagarrigue, P., *The characterisation of the dimensional change of the Z-axis in NC turning*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2004, 23, pag. 800-805;

[3] Tucker, T., Kurfess, T., *Newton methods for parametric surface registration. Part I. Theory*, 2002, Elsevier Science, Computer-Aided Design, 35, pag. 107-114;

[4] Yadong, L., Peihua, G., *Free-form surface inspection techniques state of the art review*, 2004, Elsevier Science, Computer-Aided Design, 36, pag. 1395-1417;

[5] Zhu, L.M., Xiong, Z.H., Ding, H., Xiong, Y.L., *A Distance Function Based Approach for Localization and Profile Error Evaluation of Complex Surface*, 2004, Journal of Manufacturing Science and Engineering, vol. 126, pag. 542-554;

[6] Zhu, L.M., Ding, H., *Application of kinematic geometry to computational metrology: distance function based hierarchical algorithms for cylindricity evaluation*, 2002, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 43, pag. 203-215.

[7] Capello, E., Semeraro, Q., *Harmonic Fitting Approach for Plane Geometry Measurements*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2000, 16, pag. 250-258;

[8] Peng, Y., *Intelligent condition monitoring using fuzzy inductive learning*, Journal of Intelligent Manufacturing, 2004, 15, pag. 373-380;

[9] Khoo, L. P., Tor, S. B., Zhai, L. Y., *A Rough-Set-Based Approach for Classification and Rule Induction*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 1999, 15, pag. 438-444;

- [10] Kusiak, A., *A Data Mining Approach for Generation of Control Signatures*, Journal of Manufacturing Science and Engineering, 2002, vol. 124, pag. 923-926;
- [11] Tseng, T. L., Kwon, Y., Ertekin, Y. M., *Feature-based rule induction in machining operation using rough set theory for quality assurance*, Elsevier Science, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2005, 21, pag. 559-567;
- [12] Sadoyan, H., Zakarian, A., Mohanty, P., *Data mining algorithm for manufacturing process control*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2005, DOI 10.1007/s00170-004-2367-1;
- [13] Zhong, N., Dong, J., *Using Rough Sets with Heuristics for Feature Selection*, Journal of Intelligent Information Systems, 2001, 16, pag. 199-214;
- [14] Hou, T. H., Huang, C. C., *Application of fuzzy logic and variable precision rough set approach in a remote monitoring manufacturing process for diagnosis rule induction*, Journal of Intelligent Manufacturing, 2004, 15, pag. 395-408;
- [15] Papadimitriou, S., Brockwell, A., Faloutsos, C., *Adaptive, unsupervised stream mining*, 2004, The VLDB Journal, 13, pag. 222-239;
- [16] Sebzalli, Y. M., Wang, X. Z., *Knowledge discovery from process operational data using PCA and fuzzy clustering*, Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2001, 14, pag. 607-616;
- [17] Ullah, A. M. S., Harib, K. H., *Manufacturing process performance prediction by integrating crisp and granular information*, Journal of Intelligent Manufacturing, 2005, 16, pag. 317-330;
- [18] Le Letty, R., Sosnicki, O., Barillot, F., Claeysen, F., *Actuators in Adaptronics: Piezoelectric Actuators*, II ECCOMAS Thematic Conference on Smart Structures and Materials, 2005, Portugal;
- [19] Khoo, L.P., Chen, C.H., *Integration of Response Surface Methodology with Genetic Algorithms*, International Journal of Advanced Technology, 2001, 18, pag. 483-489;
- [20] Li, X., Venuvinod, P.K., Djorjevich, A., Liu, Z., *Predicting Machining Errors in Turning Using Hybrid Learning*, International Journal of Advanced Technology, 2001, 18, pag. 863-872;
- [21] van Luttervelt, C.A., Peng, J., *Symbiosis of Modelling and Sensing to Improve the Accuracy of Workpieces in Small Machining Operations*, International Journal of Advanced Technology, 1999, 15, pag. 699-710;
- [22] Wu, Q., Bell, D., McGinnity, M., *Multiknowledge for Decision making*, Knowledge and Information Systems, 2005, 7, pag. 246-266;
- [23] Fung, E.H.K., Yang, S.M., *A New Method for Roundness Control in Taper Turning Using FCC Techniques*, Journal of Manufacturing Science and Engineering, 2001, vol. 123, pag. 567-575;
- [24] Barcenas, C.C., Griffin, P.M., *Geometric tolerance verification using superquadrics*, IIE Transactions, 2001, 33, pag. 1109-1120;
- [25] Erkorkmaz, K., Altintas, Y., *Quintic Spline Interpolation with Minimal Feed Fluctuation*, Journal of Manufacturing Science and Engineering, 2005, vol. 127, pag. 339-349;
- [26] Esat, I.I., Bahai, I.I., *Surface alignment based on the moment of inertia and improved least-squares method*, Proceedings of Institute of Mechanical Engineers, 2000, vol. 214, Part B;

- [27] Romano, D., Vicario, G., *Inspecting geometric tolerances: uncertainty analysis in position tolerances control on Coordinate Measuring Machines*, Statistical Methods & Applications, 2002, 11, pag. 83-94;
- [28] Ko, T.J., Park, J.W., Kim, H.S., Kim, S.H., *On-machine measurement using a noncontact sensor based on a CAD model*, International Journal of Advanced Technology, 2006, DOI 10.1007/s00170-005-0383-4;
- [29] Zhu, X., Ding, H., Wang, M., *Form Error Evaluation: An Iterative Reweighted Least Squares Algorithm*, Journal of Manufacturing Science and Engineering, 2004, vol. 126, pag. 535-541;
- [30] Lu, C.G., Morton, D., Wu, M.H., Myler, P., *Genetic Algorithm Modelling and Solution of Inspection Path Planning on a Coordinate Measuring Machine (CMM)*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 1999, 15, mpage. 409-416;
- [31] Jiang, B.C., Chiu, S.D., *Form tolerance-based measurement points determination with CMM*, Journal of Intelligent Manufacturing, 2002, 13, pag. 101-108;
- [32] Gass, S.I., *Fitting Circles and Spheres to Coordinate Measuring Machine Data*, The International Journal of Flexible Manufacturing Systems, 1998, 10, pag. 5-25;
- [33] Warnecke, G., Kluge, R., *Control of tolerances in turning by predictive control with neural networks*, Journal of Intelligent Manufacturing, 1998, 9, pag. 281-287;
- [34] Zhou, Y., Han, A., Yan, S., Chen, X., *A fast method for online closed-loop system identification*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2005, DOI 10.1007/s00170-005-0168-9;
- [35] Pfeifer, T., Benz, M., Engelmann, B., Hafner, P., *High precision ultrasonic on-machine measurement*, Elsevier, Measurement, 2006, 39, pag. 407-414;
- [36] Pahk, H.J., Lee, S.W., *Thermal Error Measurement and Real Time Compensation System for the CNC Machine Tools Incorporating the Spindle Thermal Error and the Feed Axis Thermal Error*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2002, 20, pag. 487-497;
- [37] El Ouafi, A., Guillot, M., Bedrouni, A., *Accuracy enhancement of multi-axis CNC machines through on-line neurocompensation*, Journal of Intelligent Manufacturing, 2000, 11, pag. 535-545;
- [38] Hekman, K.A., Liang, S.Y., *Compliance Feedback Control for Part Parallelism in Grinding*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 1999, 15, pag. 64-69;
- [39] Wang, Z., Gao, Y., Qin, P., *Detection of Gross Measurement Errors Using the Grey System Method*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2002, 19, pag. 801-804;
- [40] Dong, C., Zhang, C., Wang, B., Zhang, G., *Prediction and Compensation of Dynamic Errors for Coordinate Measuring Machines*, Journal of Manufacturing and Engineering, 2002, vol. 124, 509-514;
- [41] Ramesh, R., Mannan, M.A., Poo, A.N., *Support Vector Machines Model for Classification of Thermal Error in Machine Tools*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2002, 20, pag. 114-120;
- [42] Tseng, P.C., Ho, J.L., *A Study of High-Precision CNC Lathe Thermal Errors and Compensation*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2002, 19, pag. 850-858;

- [43] Choudhury, S.K., Jain, V.K., Krishna, S.R., *On-Line Monitoring of Tool Wear and Control of Dimensional Inaccuracy in turning*, Transactions of ASME, 2001, vol 123, pag. 10-12;
- [44] Li, X., *Real-Time Prediction of Workpiece Errors for a CNC Turning Centre, Part 4. Cutting-Force-Induced Errors*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2001, 17, pag. 665-669;
- [45] Hsu, K.S., Her, M.G., Cheng, M.Y., *Analysis and experiments of iterative learning-control system with uncertain dynamics*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2005, 25, pag. 1119-1129;
- [46] Tarng, Y.S., Chuang, H.Y., Hsu, W.T., *An Optimisation Approach to the Contour Error Control of CNC Machine Tools Using Genetic Algorithms*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 1997, 13, pag. 359-366;
- [47] Niu, X., Zhu, L., Ding, H., *New statistical moments for the detection of the defects in rolling element bearings*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2005, 26, pag. 1268-1274;
- [48] Kusiak, A., *Rough Set Theory: A Data Mining Tool for Semiconductor Manufacturing*, IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing, 2001, vol. 24, pag. 44-50;
- [49] Tarng, Y.S., Kao, J.Y., Lin, Y.S., *Identification of and Compensation for Backlash on the Contouring Accuracy of CNC Machining Centres*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 1997, 13, pag. 77-85;
- [50] Yin, J., Li, D., Peng, Y., *Knowledge acquisition from metal forming simulation*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2005, DOI 10.1007/s00170-005-2521-4;
- [51] Liu, H.S., Tarng, Y.S., *Monitoring of the Electrical Discharge Machining Process by Abductive Networks*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 1997, 13, pag. 264-270;
- [52] Gosavi, A., Phatakwala, S., *A Finite-Differences Derivative-Descent Approach for Estimating Form Error in Precision-Manufactured Parts*, Journal of Manufacturing Science and Engineering, 2006, vol. 128, pag. 355-359;
- [53] Liu, Z.Q., *Methodology of Parametric Programming for Error Compensation on CNC Centres*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2001, 17, pag. 570-574;
- [54] Wang, S.M., Yu, H.J., Liao, H.W., *A new high-efficiency error compensation system for CNC multi-axis machine tools*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2005, DOI 10.1007/s00170-004-2389-8;
- [55] Ahn, K.G., Cho, D.W., *In-Process Modelling and Estimation of Thermally Induced Errors of a Machine Tool During Cutting*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 1999, 15, pag. 299-304;
- [56] Huang, M.C., Tai, C.C., *The Pre-Processing of Data Points for Curve Fitting in Reverse Engineering*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2000, 16, pag. 635-642;
- [57] Tseng, H.Y., *A genetic algorithm for assessing flatness in automated manufacturing systems*, Journal of Intelligent Manufacturing, 2006, 17, pag. 301-306;

[58] Lin, Y., Shen, Y., *Modelling of Five-Axis Machine Tool Metrology Models Using the Matrix Summation Approach*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2003, 21, pag. 243-248;

[59] Liang, S.Y., Hecker, R.L., Landers, R.G., *Machining Process Monitoring and Control: The State-of-the-Art*, Journal of Manufacturing Science and Engineering, 2004, vol. 126, pag. 297-310;

[60] Baek, J.G., Kim, C.O., Kim, S.S., *Online learning of the cause-and-effect knowledge of a manufacturing process*, Int. J. Prod. Res., 2002, vol. 40, no. 14, pag. 3275-3290;

[61] Yang, H., Ni, J., *Dynamic Modeling for Machine Tool Thermal Error Compensation*, Journal of Manufacturing Science and Engineering, 2003, vol. 125, pag. 245-254;

[62] Ku, L.L., Huang, T.C., *Sequential monitoring of manufacturing processes: an application of grey forecasting models*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2006, 27, pag. 543-546;

[63] Katz, R., Yook, J., Koren, Y., *Control of a Non-Orthogonal Reconfigurable Machine Tool*, Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, 2004, vol. 126, pag. 397-405;

[64] *Method and apparatus for preparation of spherical hob for generation of gear*, United States Patent no. 4,309,926;

[65] *Spherical hob for generating gears*, United States Patent no. 4,174,914;

[66] *Position control method and apparatus for a closed loop type numerically controlled machine*, United States Patent no. 5,021,941;

[67] *Method and apparatus for adaptive control*, United States Patent no. 5,687,077;

[68] *Method and system for adaptive control of turning operations*, United States Patent no. 6,476,575;

[69] *System for correcting positional error in numerical control devices*, United States Patent no. 4,514,813;