

Raport stiintific si tehnic 2006

Algoritmi de identificare on-line a mașinilor-unelte

Identificarea geometriei mașinilor-unelte

Noua generație de mașini-unelte reconfigurabile se caracterizează prin faptul că pe aceste mașini are loc: fabricarea, monitorizarea procesului, identificarea geometrică și cinematică a procesului, corecția și compensarea erorilor geometrice și de proces (vezi fig. 1). Toate aceste activități au loc *on-line* și fără intervenția operatorului.

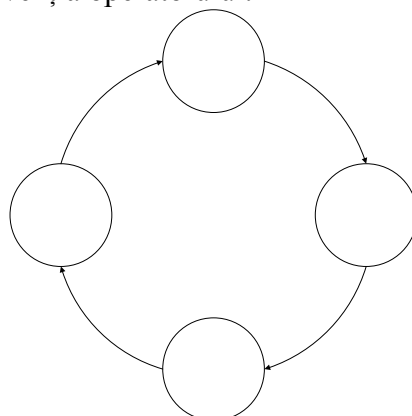


Fig. 1. Utilizarea RMS-urilor

Din acest motiv, au fost dezvoltate tehnici de măsurare pe mașinile de prelucrat (OMM), în care scula este înlocuită de un dispozitiv de inspectare și are loc măsurarea piesei imediat după terminarea procesului de prelucrare (vezi și fig. 2).

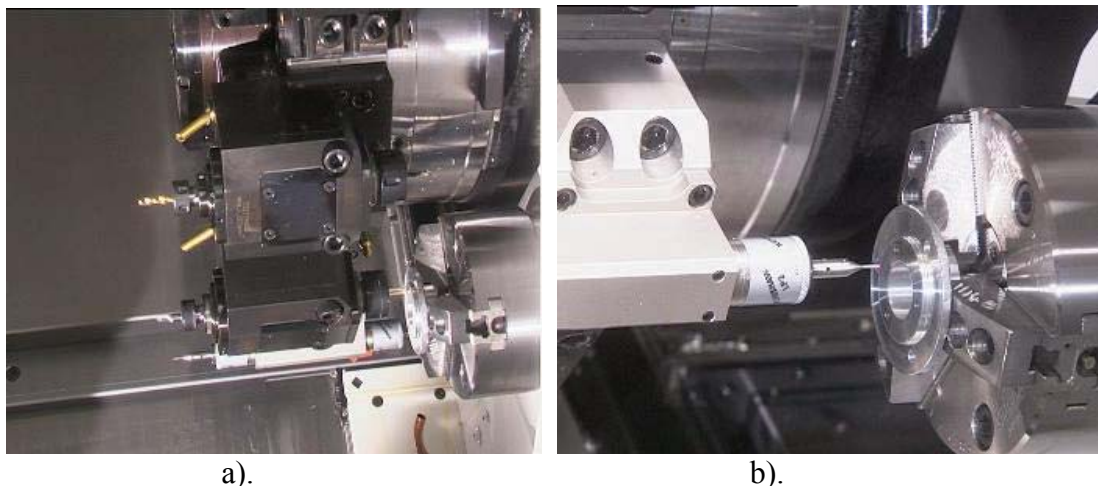


Fig. 2. Secvența de prelucrare (a) și secvența de măsurare (b)

Forma geometrică a oricărei suprafețe prelucrate este întotdeauna diferită de cea nominală. Pentru a asigura interschimbabilitatea și îndeplinirea cerințelor funcționale, toleranțele geometrice sunt asociate anumitor suprafețe. Pentru a examina calitatea suprafețelor prelucrate, acestea sunt inspectate și punctele culese sunt procesate printr-un algoritm de verificare ce permite verificarea conformității componentei respective cu specificațiile tehnice prevăzute la proiectare.

În prezent au fost elaborate metode care permit evaluarea abaterilor (tehnici statistice, tehnica coloniei de furnici, teoria *grey*, *convex hull*, a diferențelor finite și Nelder-Mead, prin simulare Monte Carlo, *support vector regression*, aproximarea Chebyshev, modelarea

cinematicii și noi abordări ale metodelor Newton de minimizare numerică non-lineară) destinate a evalua separat diferitele tipuri de abateri ce pot apare la prelucrarea suprafețelor complexe.

Considerăm că un aspect ce se poate dovedi important este cel referitor la abordarea holistică a geometriei piesei.

În practica industrială tolerarea se aplică unui grup de suprafețe ale piesei și anume acelor suprafețe care vin în contact cu un alt grup de suprafețe, formând cu acestea formă și contraformă.

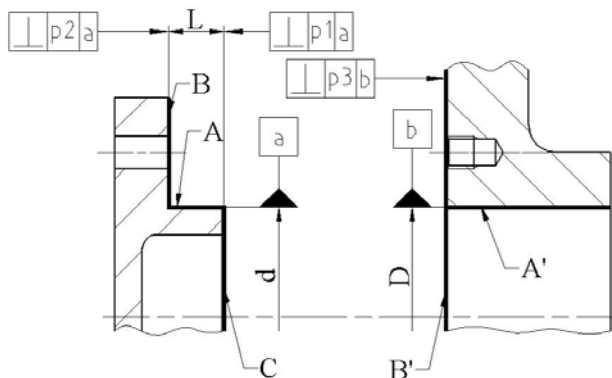


Fig. 3. Suprafețe conjugate (formă-contraformă)

Tolerarea se referă la asigurarea unei suprapunerii suficient de exacte între formă și contraformă (vezi fig. 2). Ca urmare, este mai rațional să facem inspectarea ansamblului de suprafețe ABC, fituind simultan trei noruri de puncte (culese de pe A, B și C) în scopul de a obține un triplet de modele ale suprafețelor A, B și C. În acest mod se trece de la fituirea suprafețelor individuale la modelarea ansamblurilor de suprafețe.

Fituirea ansamblurilor de suprafețe dă un rezultat mai aproape de realitate decât fituirea separată a fiecărei suprafețe. Acest rezultat reflectă mai bine gradul de corespondență între ansamblul de suprafețe.

Identificarea bazată pe metoda gradientului

Tehnica de identificare bazată pe metoda gradientului 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 reală 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.

Pentru exemplificarea tehnicii de identificare a fost simulată generarea unei suprafețe cilindrice, care prezintă abateri de poziție, dimensiuni și formă față de o suprafață cilindrică teoretică ce este cunoscută.

Scriind ecuația suprafeței cilindrice în sistemul de referință al mașinii de măsurat, se caută deplasările centrului cercului director, unghiurile de rotație în jurul axelor Ox , Oy și Oz , precum și abaterile de rază, cilindricitate și circularitate ale cercului director, pentru care norul de puncte este aproximat de suprafața cilindrică teoretică. Odată stabiliți acești parametri ai ecuației generale a cilindrului, se poate afirma că s-a realizat identificarea suprafeței ca poziție, formă și dimensiuni.

A fost elaborat programul de identificare, scris in limbajul PASCAL, și s-au făcut verificări pentru validarea rezultatelor, verificări ce au confirmat valabilitatea tehnicii de identificare bazată pe circulația parametrilor.

Identificarea bazată pe algoritmi genetici

Pentru cazurile în care suprafețele analizate 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, 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, 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.

Această metodă de identificare a geometriei mașinilor-unelte presupune parcurgerea a trei etape importante: constituirea structurilor topologice, modelarea bazată pe algoritmi genetici a structurilor, controlul (conducerea) dimensional al procesului.

Constituirea structurilor topologice se face pe baza criteriului conform căruia toate elementele unei structuri au restricții privind forma, dimensiunile sau poziția lor relativă. Trebuie subliniat faptul că o structură topologică nu este limitată numai la suprafețele prelucrate în operația respectivă.

Fiecare dintre suprafețele structurii topologice este caracterizată de modelele elementelor ce o compun și de parametrii de conformitate a suprafeței reale a piesei cu modelul, p_1, p_2, \dots, p_n care definesc restricțiile impuse elementelor structurii (vezi figura 4). Pentru fiecare parametru p_i în specificația tehnică se indică o toleranță, reprezentând domeniul de variație (valoarea minimă și cea maximă) a acestuia.

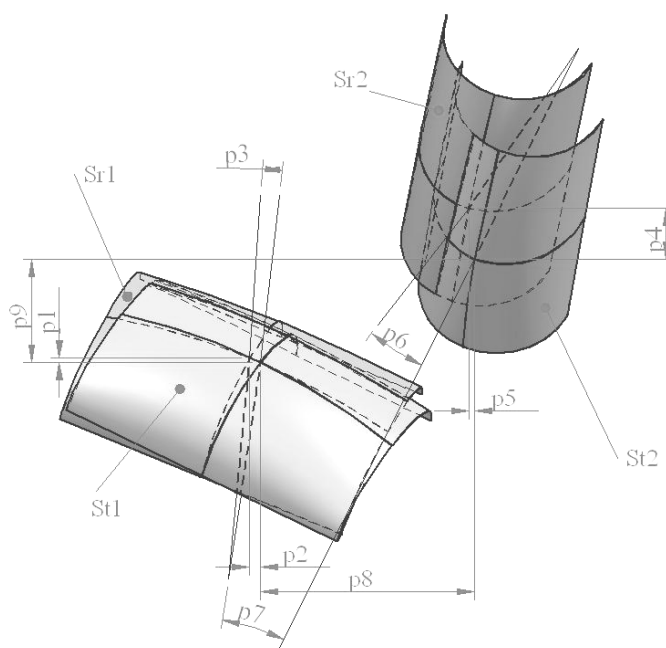


Fig. 4. Structuri topologice

În figura 4 este prezentată o structură topologică, obținută pe baza acestui criteriu, formată din suprafețele teoretice S_{t1} și S_{t2} . Ca urmare a erorilor de generare, se poate considera că, la prelucrare, au fost obținute suprafețele S_{r1} și S_{r2} , care diferă de cele teoretice, având poziția determinată de parametrii p_1, p_2, p_3 și respectiv p_4, p_5, p_6 . Presupunând că în specificațiile tehnice au fost prevăzute restricții între pozițiile suprafețelor teoretice, restricții de tipul p_7, p_8, p_9 , ne interesează dacă în urma erorilor de prelucrare, acestea se încadrează în domeniul prescris.

Pentru stabilirea structurilor topologice este necesar ca pentru fiecare operație realizată pe mașina-uneltă să se grupeze suprafețele între care se impun restricții speciale privind poziția lor relativă. Aceste restricții pot avea ca suprafață de referință o suprafață prelucrată în cadrul operației respective sau o suprafață anterior prelucrată.

Fiecare dintre restricțiile de formă, poziție și dimensiuni, prevăzute în etapa de proiectare se va constitui într-un parametru de conformitate al structurii topologice respective.

Această tehnică de identificare, precum și cea bazată pe modelarea cu rețele neuronale ce va fi prezentată în continuare a stat la baza lucrării „*Methods for Identification of Geometric Feature's Family Based on Genetic Algorithms and Neural Approach*”, propusă spre prezentare în cadrul conferinței WSEAS ce va avea loc în luna septembrie la Atena.

Identificarea bazată pe modelare cu rețele neuronale

Metoda identificării on-line a geometriei mașinilor-unelte bazate pe abordarea neuronală a topologiei suprafețelor presupune parcurgerea a trei pași: stabilirea structurilor topologice, modelarea neuronală a structurilor, controlul dimensional al procesului (vezi figura 5).

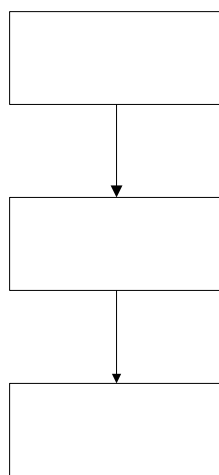


Fig. 5. Etapele identificării pe baza modelării neuronale

Pentru a genera prin simulare punctele aparținând suprafețelor componente ale structurii topologice, fiecărui parametru din setul parametrilor de conformitate și de corecție i se dă o variație între limite care trebuie să depășească limitele admisibile stabilite la proiectare.

Pe fiecare dintre suprafețele componente ale structurii topologice se generează o serie de puncte corespunzătoare traiectoriilor de măsurare stabilite în secvența program. Aceste traiectorii de măsurare vor fi echidistante la profilul suprafeței teoretice, cu scopul de a simula pozițiile ocupate de centrul suprafeței de palpate a stylusului în timpul secvenței de măsurare.

În acest mod se obține o bază de date cu M înregistrări și N câmpuri pe fiecare înregistrare, M și N fiind date de ecuațiile:

$$M = \prod_{i=1}^m v_i, \quad (1)$$

$$N = \sum_{i=1}^n k_i,$$

unde:

m este numărul de parametri din setul de conformitate corespunzător structurii topologice;

v_i — numărul de valori pe care le ia parametrul p_i (corespunzător discretizării alese);

n — numărul de suprafețe teoretice care compun structura topologică;

k_i — numărul punctelor generate pe fiecare suprafață teoretică S_{ti} .

Baza de date astfel obținută servește ca matrice de intrare pentru antrenarea rețelei neuronale care va avea ca ieșire matricea formată din seturile de parametri de conformitate.

Explorând suprafețele generate cu ajutorul dispozitivului de măsurare fixat pe mașina-unelte, în cadrul secvenței de măsurare, se recoltează coordonate ale punctelor de pe suprafețele reale ale fiecărui exemplar „k” din lotul de piese.

Aceste coordonate servesc pentru interogarea rețelelor neuronale, determinându-se atât valorile parametrilor p_i , cât ale parametrilor de corecție q_i .

Valorile parametrilor p_i servesc pentru a lua o decizie cu privire la conformitatea exemplarului „k” cu specificația tehnică, în timp ce valorile parametrilor q_i sunt utilizate pentru recalibrarea sistemului de prelucrare înainte de a prelucra exemplarul „k+1”.

Identificarea prin regenerare virtuală

Utilizarea acestei tehnici presupune ca, după realizarea piesei, aceasta să fie explorată cu un palpator, pe aceeași mașină pe care a fost prelucrată, explorare în urma căreia se obțin informații referitoare la suprafața prelucrată. De exemplu, în cazul unei suprafețe cilindrice realizate prin strunjire, se pot obține informații despre forma generatoarei, poziția axei, poziția unei alte axe față de care axa suprafeței de revoluție trebuie să îndeplinească anumite condiții etc. Această explorare a piesei am denumit-o *regenerare virtuală*.

Operația de regenerare permite închiderea ciclului, caracteristic RMS-urilor, prelucrare—monitorizare—identificare—corecție.

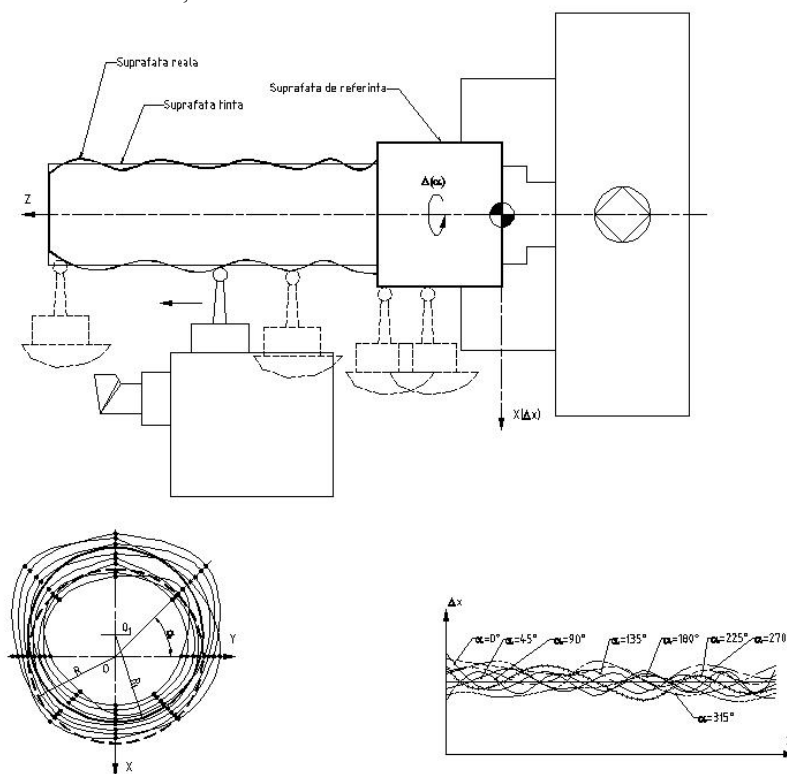


Fig. 6. Identificare prin regenerare virtuală

Concluzii

Tehnicile de identificare imaginate și prezentate permit obținerea informațiilor necesare realizării modelului matematic al geometriei sistemelor de fabricație reconfigurabile, cu suficientă acuratețe și rapiditate pentru a fi utilizate la identificarea on-line a proceselor de fabricație.

Identificarea on-line a cinematicii sistemelor de manufacturare reconfigurabile

Pentru identificarea sistemelor de fabricație reconfigurabile, pe lângă identificarea geometrică este necesară și identificarea cinematică a acestora. Acest lucru presupune stabilirea

unui model matematic al mișcărilor (traiectorii, viteze, accelerații), model care ulterior poate fi extins la ansambluri de mișcări.

În această fază au fost elaborate trei tehnici de identificare: identificarea armonică, identificarea neuronală și identificarea bazată pe „rough set theory”.

Identificarea armonică

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 serie 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 figura 7 este prezentat modelul erorii liniare (y), al erorii aproximată prin modelare armonică în serie Fourier utilizând 9 coeficienți (f_2) și al erorii aproximată prin modelare armonică de ordinul doi utilizând 9 coeficienți (f_m).

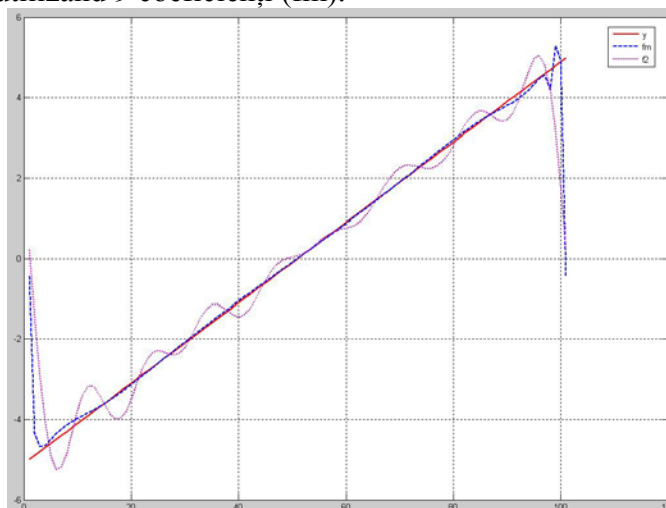


Fig. 7. Modelul erorii liniare (y), al erorii aproximată prin modelare armonică în serie Fourier (f_2) și al erorii aproximată prin modelare armonică de ordinul doi (f_m)

În figura 8 este prezentat modelul erorii cu componentă liniară și sinusoidală (y), al erorii aproximată prin modelare armonică în serie Fourier utilizând 9 coeficienți (f_1) și al erorii aproximată prin modelare armonică de ordinul doi utilizând 9 coeficienți (f_m).

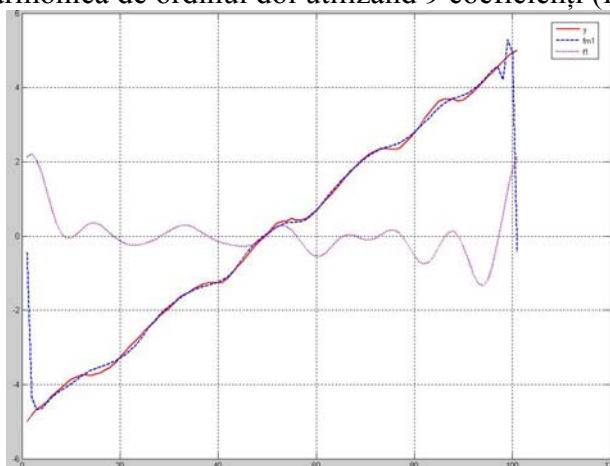


Fig. 8. Modelul erorii cu componentă liniară și sinusoidală (y), al erorii aproximată prin modelare armonică în serie Fourier ($f1$) și al erorii aproximată prin modelare armonică de ordinul doi ($f2$)

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.

Identificarea neuronală

Tehnica de identificare neuronală presupune utilizarea rețelelor 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 „marmor” 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 marmor.

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

Identificare bazată pe „rough set theory”

Această tehnică de identificare presupune utilizarea seturilor de date obținute experimental, în etapa de măsurare, pentru determinarea relațiilor ce pot apare, atât între valorile erorilor în diferite puncte, cât și între valorile erorilor pe care intenționăm să le determinăm și valorile parametrilor ce caracterizează sistemul (deformații, gradient termic etc.).

Valorile determinate sunt incluse într-o bază de date, care poate fi apoi analizată cu un program specializat pentru determinarea arborilor decizionali (tip ROSETTA), obținându-se relațiile existente între câmpurile bazei de date.

Acest lucru permite estimarea erorilor ce vor apare în anumite condiții și luarea măsurilor pentru compensarea acestor erori.

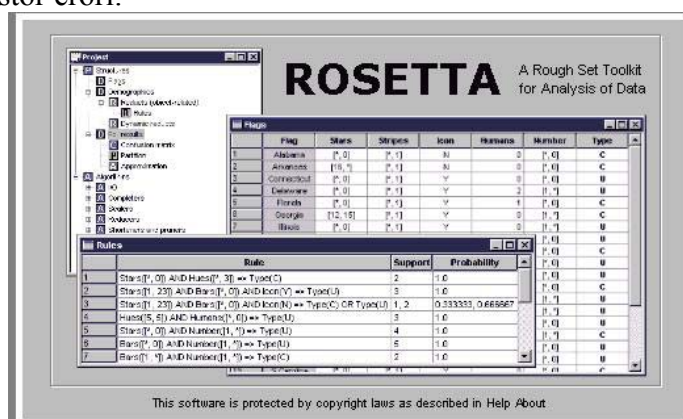


Fig. 9. Identificarea bazată pe „rough set theory”

Concluzii

Tehnicile de identificare imaginare și prezentate permit estimarea erorilor apărute, în funcție de valorile determinate în anumite puncte sau în funcție de condițiile specifice de prelucrare.

Prelucrare cu avans programat

Este cunoscut faptul că posibilitatea de a controla forțele ce apar în timpul procesului de aşchiere conduce la importante avantaje economice prin creşterea productivităţii şi a calităţii suprafeţelor prelucrate.

A fost imaginată o tehnică de programare a avansului de aşchiere prin utilizarea unei baze de date extinse ce înlocuieşte modelul matematic al maşinii-unelte reconfigurabile. Această bază de date permite analiza predictivă a forţei de aşchiere în baza determinării ariei aşchierii detaşate în timpul prelucrării.

Metoda are următoarele avantaje:

- În cazul proceselor de aşchiere complexe, când adâncimea de aşchiere şi lăţimea aşchierii au variaţii importante la schimbarea poziţiei sculei, precum şi în cazul în care aşchieria nu este continuă (de exemplu generarea prin rulare cu cuţit-pieptene sau cuţit-roată) este necesară analiza predictivă a forţei de aşchiere pentru a o putea menţine în limitele permise;

- Muchia aşchietoare reală este diferită de cea teoretică datorită uzurii sculei, schimbării acesteia precum şi datorită deviaţiilor profilului semifabricatului de la forma teoretică. Aceste lucruri duc la necesitatea de a calibra sistemul de prelucrare;

- Este posibilă limitarea lăţimii aşchierii astfel încât este îmbunătăţită stabilitatea procesului;

- Este posibilă corectarea traiectoriei programate a sculei astfel încât să se obţină traiectoria ţintă.

Această tehnică de modelare a fost prezentată în lucrarea „*On-Line Geometrical Identification of Reconfigurable Machine Tool Using Virtual Machining*” susţinută la conferinţa internaţională Enformatika ce a avut loc în octombrie 2006 la Barcelona.

Lista lucrărilor elaborate în cadrul contractului 22:

1. *Graphical Programming of Programmable Logic Controllers —Case Study for a Punching Machine—*, Marinescu, V., Constantin, I., Epureanu, Al., Teodor, V., Transactions on Engineering, Computing and Technology, Vol. 15, pag. 273-277, 2006, ISSN 1305-5313;

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

3. *Aproximation of the Gear Cutter Profile Used in the Generation of Interior Polyform Surfaces*, Oancea, N., Mihăluţă, M., Teodor, V., Analele Universităţii „Dunărea de Jos” din Galaţi, Fasc. V, 2006, ISSN 1221-4566, în curs de publicare;