

## DEZVOLTAREA UNUI NOU CONCEPT DE CONDUCERE A MASINILOR TEHNOLOGICE-CONDUCEREA HOLARHIC ATRIBUTIVA

### Obiectivele proiectului

Obiectul prezentului proiect îl formează clasa de mașini destinate procesării materialelor în vederea obținerii de componente mecanice, care vor fi numite în continuare *mașini tehnologice*. Aspectele caracteristice ale pieței actuale de componente mecanice sunt: *i)* dimensiunea curentă a comenzilor are o tendință accentuată de scădere, ceea ce conduce la alcatuirea unor serii *mici* de fabricație; *ii)* tendința accentuată de personalizare a produselor conduce la o *diversitate pronunțată* a formelor, dimensiunilor și a altor caracteristici ale componentelor mecanice solicitate pe piață; *iii)* flexibilitatea și reconfigurabilitatea mașinilor tehnologice tind să devină caracteristicile ce determină *in mod hotărâtor* competitivitatea pe piață a fabricanților de mașini tehnologice; *iv)* principala direcție pe care se poate avansa pe calea acordării mașinilor tehnologice cu cerințele de reconfigurabilitate impuse de piață este *schimbarea la nivel conceptual a modului în care este condusă* o mașină tehnologică, astfel încât reconfigurarea sistemului de conducere a mașinii, în acord cu comenzile oferite de piață, să se realizeze în astfel de condiții tehnice și economice, încât să nu fie afectată competitivitatea.

Scopul proiectului este *creșterea competitivității mașinilor tehnologice*, destinate fabricației în serie *mica* a unor game *largi* de produse, prin: *i)* reducerea duratei reconfigurării; *ii)* reducerea duratei programării; *iii)* minimizarea erorilor de prelucrare; *iv)* maximizarea productivității; *v)* minimizarea costurilor și, în fine, *vi)* asigurarea automată a stabilității.

#### Ideii cheie:

Construcția acestui proiect se sprijină pe patru idei cheie, de nivel conceptual, și anume:

1. Modelare structurată atributiv și nu fenomenologic, pentru a permite controlul integrat al fenomenelor fizice, economice, comerciale și organizatorice ce apar în cursul funcționării mașinii.
2. Sistem de conducere holarhic<sup>(1)</sup>, cu arhitectura deschisă, și nu sistem ierarhic, cu arhitectura închisă.
3. Extragerea de cunoștințe din funcționarea curentă și utilizarea imediată a acestora pentru conducerea mașinii.
4. Conducere bazată pe modele simple, localizate în spațiu și efemere, construite cu date recente, în loc de modele complexe, generale, perene, construite din date istorice.

#### Obiectivele proiectului.

Drept mijloc de atingere a scopului propus mai sus, în proiect se propune dezvoltarea unui nou concept privind conducerea mașinilor tehnologice, care se bazează pe modelare holarhic-atributivă, asociată cu învățare online nesupervizată și conceperea pe această bază a unui sistem de conducere preventivă, adaptiv-optimală a mașinilor tehnologice reconfigurabile.

Această abordare face ca obiectivele proiectului să fie următoarele:

**Ob.1.** Dezvoltarea noului concept de conducere bazat pe modelare holarhic-atributivă și învățare online nesupervizată. Pentru a descrie, suficient de complet, din punct de vedere tehnic, economic și comercial, comportarea mașinilor tehnologice, pot fi considerate următoarele atribute: *precizia, stabilitatea, productivitatea, economicitatea, predictibilitatea și adaptabilitatea.*

Intrucat nivelul celor sase atribute de mai sus caracterizeaza, nu numai comportarea, dar si masura in care masina satisface cerintele pietei, aceste atribute vor fi folosite pentru conducerea masinii tehnologice si vor fi denumite in continuare atribute de comanda.

Aceste atribute isi modifica nivelul functiei de valori ale unora dintre marimile de stare ale masinii, cum ar fi, de exemplu, viteza de aschiere, avansul, forta de aschiere, temperatura. O parte dintre aceste marimi de stare pot fi modificate dupa dorinta, si de aceea pot fi folosite ca variabile de control. Spre exemplu, dintre cele de mai sus ar putea fi folosite ca variabile de control viteza de aschiere si avansul. Din aceste motive, nivelul atributelor de comanda va fi *evaluat prin monitorizarea marimilor de stare si va fi controlat prin corectia variabilelor de control*.

In figura 5 se prezinta schema principiala a noului *concept de conducere a masinilor tehnologice*, propus in proiect, si anume conducerea prin modelare holarhica-atributiva si invatare online nesupervizata. Conceptul urmeaza a fi dezvoltat teoretic si verificat experimental prin implementarea pilot a acestuia in conducerea unei masini-unelte (strung). In timpul transformarii semifabricatului in produs finit (in conformitate cu programul piesa), monitorul masoara variabilele de stare ale masinii tehnologice si, folosind modelele E1, E2, E3, E4, furnizeaza la iesire nivelul atributelor de comanda. Holarhia analizeaza nivelul acestor atribute si, pe baza reglementarilor care o compun, furnizeaza arborele decizional. Reglementarile holarhiei reflecta politica administratiei privitoare la relatia cu piata (de exemplu, succesul pe piata al produselor). Arborele decizional este transmis sistemului de comanda, care genereaza corectiile corespunzatoare fiecarui atribut de comanda, asigurandu-se astfel caracterul optimal al sistemului de control.

- 
- 
- <sup>(1)</sup> Prin conducere holarhica vom intelege acel mod de conducere la care elementele conduse sunt structurate holonic si interactioneaza intre ele pentru a-si atinge propriile obiective, dar respectand un sistem de reglementari pe care le impune elementul care conduce. Pastrand proportiile, un exemplu in acest sens ne este oferit de Ministerul Economiei si Comertului care conduce holarhic agentii economici privati sau de stat ce alcatuiesc economia nationala. Desi agentii economici actioneaza liber pe piata, ei trebuie sa respecte reglementarile impuse de minister, iar reglementarile acestuia sunt astfel elaborate si aplicate incat sa impuna o anumita evolutie a economiei.

Prin modelele C1, C2, C3, C4, corectiile atributelor de comanda sunt transformate in corectii ale variabilelor de control si transmise interpretorului, pentru a fi adaugate la valorile de referinta ale acestor variabile (valori care rezulta din procesarea programului piesa de catre interpretor). Baza de date rezultate din monitorizarea pe termen lung a masinii este folosita de sistemul de invatare nesupravegheata, pentru a actualiza modelele E1, E2, E3, E4 si C1, C2, C3, C4, in conformitate cu evolutia comportarii in timp si spatiu a masinii tehnologice. In acest fel se asigura, atat caracterul adaptiv (prin reconstructia modelelor C1...C4 si E1...E4), cat si caracterul optimal al sistemului de control (prin arborele decizional oferit de holarhie)

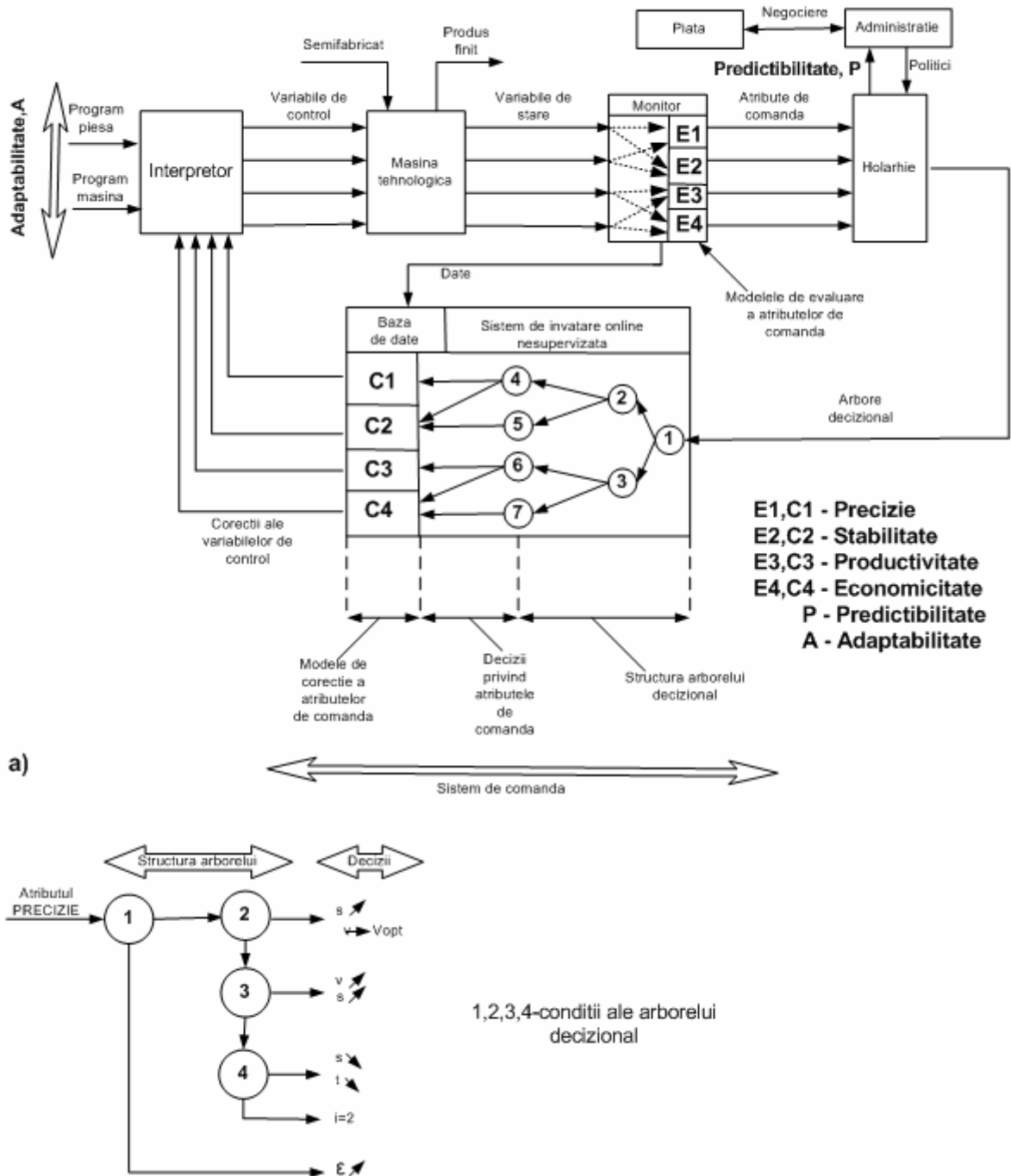


Fig.5 Schema principala a noului sistem de conducere a masinilor tehnologice(a) si schema unei ramuri a arborelui decizional al sistemului de conducere (b)

**Ob.2. *Conceperea unei metode de reconfigurare rapida a sistemului de comanda numerica al masinii*** (controlul adaptabilitatii la cerintele pietei). In prezent, schimbarea prin reconfigurare a structurii si cinematicii masinii impune reconceperea si reconstruirea sistemului de comanda numerica, ceea ce costa si dureaza mult, afectand astfel sever adaptabilitatea masinii la cerintele pietei. Metoda se bazeaza pe ideea originala de interpretor autoconfigurabil, cu care se poate asigura reducerea timpului de reconfigurare a sistemului de comanda numerica, pana la un nivel practic neglijabil de mic. Comanda interpretorului se va da printr-un program-masina (vezi Fig.5) care, intr-un limbaj inalt (ce urmeaza a fi dezvoltat in cadrul acestui proiect), prezinta structura hardware a masinii. In plus, debugger-ul intepretorului verifica

fezabilitatea structurii hard, in acord cu cinematica procesului, eliminand astfel obisnuitele teste de coliziune (specifice actualei proceduri de elaborare a programului-piesa) si reducand semnificativ, atat efortul cat si timpul de programare.

**Ob.3.** Dezvoltarea unui sistem de programare a masinii bazat pe taskuri, avand ca scop minimizarea efortului de operare (controlul adaptabilitatii la cerintele operatorului). Pentru aceasta va fi conceput un algoritm de procesare a datelor din programul-piesa, precum si limbajul aferent, astfel incat acest document sa contina *lista taskurilor* ce trebuie indeplinite *si nu lista instructiunilor* prin care aceste taskuri urmeaza a fi indeplinite – cum este in prezent cazul. In acest scop, interpretorul va fi conceput astfel incat sa aiba capabilitatea de autoprogramare, prin care sa se poata reduce cu cel putin 50% timpul si efortul consumat pentru elaborarea programului-piesa. In conditiile actuale, cand piata ofera comenzi din ce in ce mai mici si mai variate, aceasta abordare poate aduce plusul de competitivitate necesar pentru obtinerea succesului.

**Ob.4.** Conceperea unei tehnici de prognoza si compensare online a erorilor de prelucrare, avand ca scop maximizarea simultana a preciziei si productivitatii. Atat erorile de sistem, cat si cele de proces, urmeaza a fi prognozate si compensate numeric, online, astfel incat precizia sa depinda doar de performanta prognozei si nu de intensitatea procesului de prelucrare. Ca urmare, procesul se poate desfasura intr-o singura etapa, si nu in doua – degrosare, finisare – ca in prezent. In acest fel precizia si productivitatea se pot maximiza simultan, ceea ce asigura masinii tehnologice un inalt nivel de performanta.

**Ob.5.** Dezvoltarea unui sistem de control online al stabilitatii, bazat pe modelarea haotica online a dinamicii ansamblului masina-proces. Ideea cheie a acestui sistem este aceea ca, potrivit observatiilor experimentale ale membrilor echipei, in apropierea limitei de stabilitate anumiti parametri ai procesului (cum ar fi, de exemplu, forta de aschiere) isi schimba modul de evolutie in timp, de la stohastic la haotic. Evaluarea caracterului haotic, cu ajutorul exponentului Liapunov,  $\lambda$ , a pus in evidenta aceasta observatie (Fig.6). Mai mult, asa cum rezulta din relatia F'-F (phase portrait din Fig.6), instabilitatea se manifesta sub forma unor cicluri limita instabile, datorate unor atractori, ce au aparut dupa posibile bifurcatii. Pornind de aici, urmeaza ca, identificand online dinamica ansamblului masina-proces, cu modele haotice de tip  $x' = f(x)$ , sa se stabileasca, tot online, pozitia punctului de functionare al masinii in raport cu limita de stabilitate. Daca punctul de functionare este in domeniul instabil, acesta este adus in domeniul stabil, in apropierea limitei de stabilitate. Daca punctul de functionare este in domniul stabil, dar departe de limita de stabilitate, atunci acesta este adus in apropierea limitei de stabilitate (pentru a majora productivitatea). In acest fel, tinand permanent punctul de functionare in domeniul stabil, dar in apropierea limitei de stabilitate, este utilizata complet intreaga capacitate a masinii tehnologice.

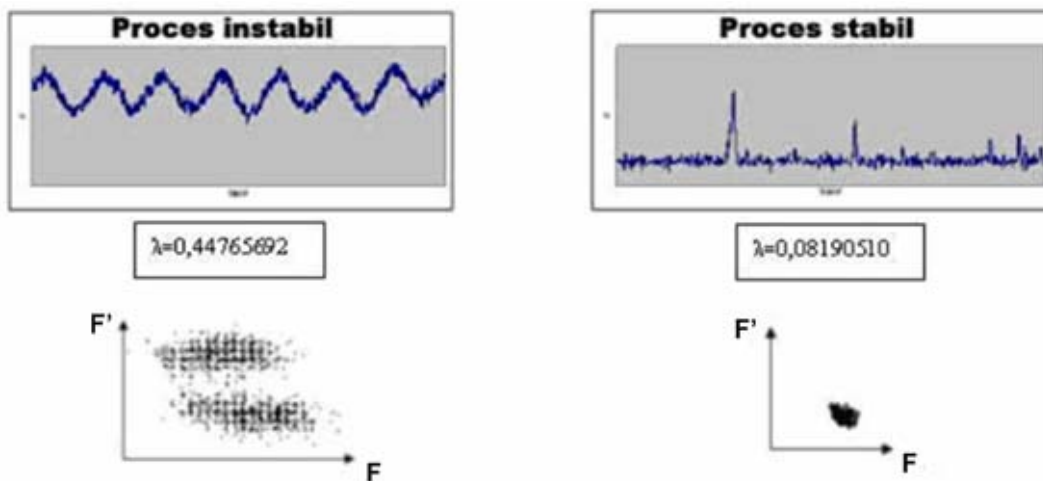


Fig.6 Exponentul Liapunov,  $\lambda$  si dependenta  $F'-F$  (phase portrait) pentru proces stabil si instabil (rezultate experimentale ale echipei)

**Ob.6.** Dezvoltarea unui sistem de reglare adaptiv-optimala a intensitatii procesului, destinat minimizarii consumurilor de timp, energie si materiale. Sistemul de reglare include monitorizarea, atat a parametrilor ce caracterizeaza intensitatea procesului, cat si consumurile de timp, energie si materiale. Deasemenea sistemul inregistreaza valorile acestora intr-o baza de date. Algoritmul de reglare adaptiv-optimala include folosirea bazei de date, pentru constructia online a unui model economic al masinii, si utilizarea modelului pentru a regla acei parametri ai procesului ale caror valori nu au fost impuse prin restrictiile tehnice ale procesului. Modelul economic va fi obtinut prin tehnici de invatare nesupravegheata sau alte tehnici. Este de asteptat ca efectul economic sa fie semnificativ deoarece, din experimentarile facute de membrii echipei in scopul prepararii acestui proiect, a rezultat ca, de exemplu, consumul specific de energie variaza cu intensitatea procesului in limite foarte largi, de la 0,7 la 15 kwh pe  $dm^3$  de material prelucrat.

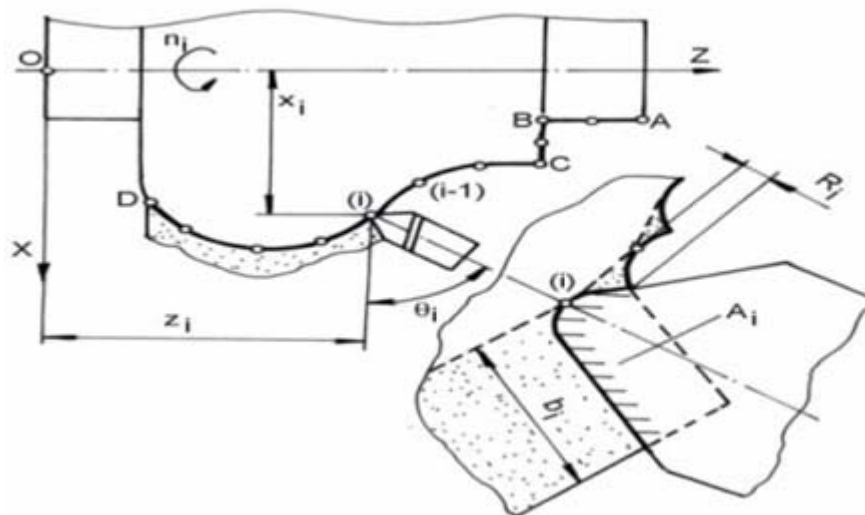


Fig. 7 Programul evolutiei in timp a setului de parametri geometrici ai procesului

**Ob.7.** Conceperea unui sistem de programare si prelucrare virtuala. Observatia de plecare in acest demers este aceea ca in timpul prelucrarii mecanice a materialelor intensitatea proceselor variaza, *in limite largi*, ceea ce face ca nivelul productivitatii sa varieze corespunzator, dar sa ramana permanent sub nivelul maxim permis de masina. Numarul mare al marimilor de stare ce determina nivelul intensitatii procesului, precum si multitudinea de relatii si restrictii care intervin, fac nefezabila ideea unor bucle de reglare automata a acestor variabile. Ideea cheie in acest caz este de a programa evolutia in timp a setului marimilor de stare, folosind un sistem de prelucrare virtuala, si de a comanda apoi, pas cu pas, aceasta evolutie. Spre exemplu, in procesul de prelucrare din Fig. 7, pornind de la variabilele de stare la momentul  $i$ , care sunt

$x(i)$ ,  $y(i)$ ,  $\theta(i)$ ,  $n(i)$  si  $A(i)$ , se calculeaza valorile corespunzatoare momentului  $i+1$ , astfel ca nivelul productivitatii sa fie maxim iar toate celelalte restrictii sa fie satisfacute.

**Ob.8.** Asigurarea predictibilitatii prin modelarea sintetica a functionarii masinii si folosirea modelului pentru fundamentarea rapida si obiectiva a ofertelor, in scopul cresterii performantei marketingului si a unei mai bune acordari a pretului cu costul. Asigurarea masinii cu lucrari contractate este rezultatul participarii cu oferte la diferite licitatii. Compartimentul de marketing poate elabora rapid oferte bine fundamentate numai daca dispune de modelele sintetice ale masinilor din dotare, care sa permita evaluarea cat mai precisa a costurilor, functie de parametrii sintetici ai lucrarilor executate. Modelarea sintetica a functionarii masinii se va baza pe monitorizarea si stocarea intr-o baza de date a consumurilor si a parametrilor sintetici ai lucrarilor executate, urmata de aplicarea tehnicilor de *data mining* (de exemplu *rough set theory* sau *k – nearest neighbor algorithm*) ori a modelarii neuronale.

**Ob.9** Implementarea pilot a conceptului de conducere holarhic-atributiva in cazul unui strung experimental comandat numeric. Noul concept de conducere a masinilor tehnologice va fi aplicat pentru dezvoltarea unui sistem concret de conducere adaptiv optimala si implementarea acestui sistem la un strung orizontal din laborator. Algoritmii dezvoltati pentru controlul diferitelor attribute de comanda vor fi conectati cu algoritmul de generare a arborelui decizional, corespunzator conducerii holarhic-atributiva. Dotand strungul cu senzori de forta, temperatura si pozitie adecvati si folosind comanda numerica a acestuia (care a fost realizata de echipa proiectului in cadrul unei lucrari anterioare de cercetare), se va realiza experimental un prototip, care poate servi pentru validarea si evaluarea performantelor sistemului de conducere.

Testarea experimental a prototipului dezvoltat in cadrul proiectului va consta in desfasurarea unui program experimental de prelucrare a unor loturi de piese diferite si evaluarea nivelului de performanta tehnica si economica obtinut, in comparatie cu nivelul ce ar putea fi atins atunci cand sunt utilizate masini tehnologice conventionale. Sistemul indicatorilor de performanta va trebui sa reflecte aspecte esentiale ale activitatii de productie, cu respectarea restrictiilor tehnice impuse produsului.