

Modeliranje otpora rezanja pri glodanju pomoću fazi logike

Pavel Kovač, Dragan Rodić, Borislav Savković

Departman za proizvodno masinstvo
Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka
21000 Novi Sad, Srbija

pkovac@uns.ac.rs, rodicdr@uns.ac.rs, savkovic@uns.ac.rs

Dušan Ješić

Međunarodno tehnološka menadžerska akademija
21000 Novi Sad, Srbija
dusanjesic@hotmail.com

Dušan Golubović

Mašinski fakultet,
Univerzitet u Istočnom Sarajevu
71123 Lukavica, Bosna i Hercegovina
dusan.golubovic54@gmail.com

Sažetak—Modeliranje otpora rezanja jedan je od glavnih problema teorije obrade rezanjem. Veliki broj međusobno povezanih parametara ima uticaj na otpor rezanja (brzina rezanja, pomak, dubina rezanja, habanje alata, karakteristike obradka itd...) što prouzrokuje poteškoće pri razvoju odgovarajućih modela. U radu su prikazani osnovni koncepti fazi logike u cilju modeliranja otpora rezanja. Realizovana su dva modela prvi pomoću fazi logike i drugi na bazi plana eksperimenta. Kao ulazni parametri modela korišćeni su: brzina rezanja, pomak, dubina rezanja i pojas habanja alata. Sile rezanja F_x , F_y i F_z korišćene su kao izlazni parametri modela. Nakon modeliranja izvršeno je testiranje i poređenje rezultata modela i na taj način utvrđena je podobnost njihove primene.

Ključne riječi- Fazi logika, plan eksperimenta, sila rezanja, režimi rezanja, habanje alata

I. UVOD

Prodiranju reznog klina alata u materijal predmeta obrade suprotstavljaju se otpori rezanja. Pored toga, kao posledica delovanja mehaničkog i toplotnog opterećenja, na grudnoj i leđnoj površini alata nastaje i intenzivno habanje. Veliki broj međusobno povezanih parametara ima uticaj na otpor rezanja (brzina rezanja, pomak, dubina rezanja, habanje alata, karakteristike obradka itd...) što prouzrokuje poteškoće pri razvoju odgovarajućih modela. Tačno poznavanje karakteristika i vrednosti sila rezanja pri čeonom glodanju je potrebno za proučavanje dinamike procesa rezanja, a u nekim slučajevima, potrebno je brzo doći do preporučenih vrednosti nekih od parametara procesa [1]. Veliki broj faktora utiče na dobijene rezultate, pa je odstupanje eksperimentalno dobijenih rezultata od literaturnih vrednosti, često. Upravo ta odstupanja rezultata pokazuju značaj upotrebe veštačke inteligencije, a poslednjih godina sve više se koriste sistemi zasnovani na fuzzy logici.

Poslednjih decenija istraživači su sprovedi veliki broj istraživanja primene fazi logike i fazi neuro sistema pri obradi

rezanjem [2]–[4]. Korišćenjem adaptivno-neuro-fazi sistema razvijen je pouzdan model za predviđanje sile rezanja tokom čeonog glodanja tvrdog čelika [5]. Primenom fazi logike i regresione analize razvijeni su modeli za predviđanje hrapavosti površine pri čeonom glodanju nakon čega su ti modeli upoređeni. Dobijeni rezultati pokazali su da je efektivnija primena fazi logike [6]. Fazi logika I neuro-fazi sistemi, kao metode veštačke inteligencije omogućavaju generisanje novih modela i izbor boljih rešenja u toku procesa rezanja. Prednosti ovih metoda su da su one univerzalne i da se generalno mogu koristiti u svim oblastima modeliranja i optimizacije pa čak i komplikovanih procesa kao što je proces rezanja [7].

II. VEŠTAČKA INTELIGENCIJA

Veštačka inteligencija predstavlja mešavinu konvencionalne nauke, fiziologije i psihologije, sve u cilju da se napravi mašina koja bi se, po ljudskim merilima, mogla smatrati "inteligentnom".

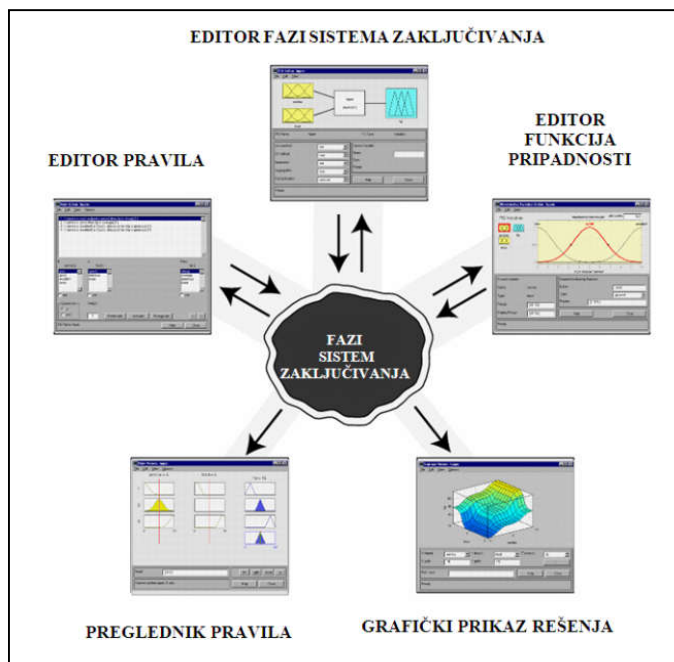
U mozgu se skup informacija, to jest znanje, smešta distribuirano. Otkaz jednog neurona ne znači da je bilo koja informacija izgubljena ili bar ne u potpunosti. Sve ovo ilustruje zašto su ljudi jako zainteresovani za razvoj novih arhitektura, vrlo sličnih neurobiološkim. U tom smislu mogu se uočiti glavni pravci razvoja ovakvih struktura:

- ekspertni sistemi
- fazi logika
- veštačke neuronske mreže
- genetski algoritmi
- genetsko programiranje

A. Fazi logika

Fazi logika predstavlja metod koji se danas dosta koristi i pruža velike mogućnosti u rešavanju problema u automatskom upravljanju i obradi informacija. Ona omogućava da se na jednostavan način donose korektni zaključci na osnovu

nedovoljno određenih, nepreciznih polaznih (ulaznih) informacija (slika 1).



Slika 1. Fazi sistem zaključivanja

Budući da se donošenje zaključaka vrši na osnovu lingvističkih izraza (fazi pravila) koji se nalaze u bazi znanja, fazi sisteme možemo posmatrati kao inteligentne, podržavaju čovekov način razmišljanja.

Modeli zasnovani na fuzzy logici sastoje se od „If – Then“ („Ako – Onda“) pravila. „If – Then“ pravila međusobno su povezana izrazom „Else“ („ili“).

Ako- If deo predstavlja ulazno stanje. Ovde fuzzy propozicija predstavlja premisu. Onda - Then deo je izlazno stanje. Fuzzy propozicija u ovom delu predstavlja zaključak. On može da bude u složenom obliku i tada sistem ima više izlaznih promenljivih.

Najčešće su ulazne vrednosti predstavljene brojem, pri čemu se želi i izlazna vrednost u isto tako brojčanom obliku. Međutim, u fazi sistemu dati sistem je opisan verbalno (kvalitativno) preko produkcionih pravila. Zbog toga se na određen način brojčane vrednosti moraju konvertovati odnosno fazifikovati. To se naziva fazifikacija, odnosno proces koji konvertuje svaki brojčani ulazni podatak u stepen pripadnosti koji je različit za svako pravilo.

Nakon toga slede tri faze:

- agregacija,
- aktivacija i
- akumulacija.

Brojčana izlazna vrednost se dobija procesom defazifikacije. Sve ovo obuhvaćeno se može nazvati aproksimativno rezonovanje

Postoje dva osnovna tipa sistema fazi zaključivanja: 1. tip Mamdani i 2. tip Sugeno.

Mamdanijev tip sistema fazi zaključivanja pretpostavlja da je izlazna veličina procesa zaključivanja fazi skup. Ovakav fazi skup zahteva agregacioni proces u postupku defazifikacije.

Sugeno model podržava ovakav tip izlaznih funkcija tj. podataka i, u osnovi, je veoma sličan Mamdani modelu fazi zaključivanja. Sličnost oba modela zaključivanja se sastoji u istom pristupu fazifikaciji ulaznih veličina i primeni fazi operatora. Glavna razlika se uočava u tipu izlazne funkcije pripadnosti, koja se, u slučaju Sugeno modela, javlja samo kao linearna funkcija ili konstanta.

III. OPIS EKSPERIMENTA

Eksperimentalna ispitivanja su vršena sa jednim materijalom obradka i to sa čelikom sa poboljšavanje Č.1730, zbog velike zastupljenosti ovog čelika kako pri istraživanjima tako i praktičnoj primeni.

Mašina na kojoj je izvršena operacija glodanja je vertikalna glodalica “Prvomajska” FSS-GVK-3. Ova mašina je instalisana na Departmanu za proizvodno mašinstvo u Novom Sadu, u okviru Laboratorije za postupke obrade rezanjem. Kao rezni alat korišćene su kvadratne okretne pločice od metalnog karbida “Prvi Partizan” kvaliteta P 25.

Režim obrade je obuhvatio sledeće elemente:

- brzina rezanja v [m/s], odnosno broj obrtaja na mašini n [o/min],
- pomak po zubu s_z [mm/z], odnosno odgovarajuća brzina kretanja stola mašine s [mm/min],
- dubina rezanja δ [mm],
- širina pojasa habanja VB [mm]

Prilikom eksperimentalnih ispitivanja merene su sile F_x , F_y , F_z , a na osnovu njih smo vršili poređenje sa rezultatima dobijenih putem FUZZY LOGIKE (mamdani modela) i vrednostima dobijenim na osnovu četvorofaktornog plana experimenta drugog reda. Vrednosti faktora četvorofaktornog plana experimenta drugog reda su prikazane u Tabeli 1.

TABELA I. VREDNOSTI FAKTORA ČETVORFAKTORNOG PLANA EXPERIMENTA DRUGOG REDA

No.	v [m/s]	s_z [mm/z]	a [mm]	VB [mm]	Θ [°C]
1.	2,32	0,178	1	0,12	79
2.	3,67	0,178	1	0,12	106
3.	2,32	0,280	1	0,12	92
4.	3,67	0,280	1	0,12	112
5.	2,32	0,178	2,25	0,12	115
6.	3,67	0,178	2,25	0,12	130
7.	2,32	0,280	2,25	0,12	125
8.	3,67	0,280	2,25	0,12	173
9.	2,32	0,178	1	0,28	102
10.	3,67	0,178	1	0,28	126
11.	2,32	0,280	1	0,28	104
12.	3,67	0,280	1	0,28	147
13.	2,32	0,178	2,25	0,28	150
14.	3,67	0,178	2,25	0,28	161
15.	2,32	0,280	2,25	0,28	148
16.	3,67	0,280	2,25	0,28	182
17.	2,95	0,223	1,5	0,18	128
18.	2,95	0,223	1,5	0,18	120

19.	2,95	0,223	1,5	0,18	122
20.	2,95	0,223	1,5	0,18	126
21.	2,95	0,223	1,5	0,18	142
22.	2,95	0,223	1,5	0,18	130
23.	1,83	0,223	1,5	0,18	117
24.	4,65	0,223	1,5	0,18	167
25.	2,95	0,142	1,5	0,18	115
26.	2,95	0,351	1,5	0,18	157
27.	2,95	0,223	0,67	0,18	88
28.	2,95	0,223	3,37	0,18	205
29.	2,95	0,223	1,5	0,08	118
30.	2,95	0,223	1,5	0,4	150

IV. REALIZACIJA MODELA

Za realizaciju modela koristi se programski jezik MATLAB (skraćenica od matična laboratorija matrix laboratory). MATLAB obuhvata familiju dodatnih rešenja vezanih za specifične primene, predstavljenih u vidu panela sa alatima. Od velikog značaja za većinu korisnika MATLAB-a, paneli sa alatima (toolbox) pružaju mogućnost da se lako savlada primena neke specijalizovane tehnologije.

U eksperimentu koji sledi koristi se programski alat "Fuzzy Logic Toolbox" (FLT), čije se funkcije pozivaju u okviru simulacijskog paketa Matlab.

Programski alat "Fuzzy Logic Toolbox" sastoji se od pet glavnih prozora:

- FIS Editor, je fazi dokazivač u kojem biramo metod zaključivanja (oblik fazi zaključivanja),
- Membership Function Editor, biramo f-ju pripadnosti, njen oblik i položaj,
- Rule Editor, za kreiranje i editovanje pravila,
- Rule Viewer, omogućuje pregled pravila,
- Surface Viewer, prikazuje skup mogućih rešenja, 3D uz mogućnost rotiranja.

Proces donošenja zaključaka na osnovu fazi pravila, činjenica i njihovog značenja naziva se fazi zaključivanje –

"fuzzy inferencing", a ceo sistem – fazi sistem zaključivanja ("fuzzy inferencing system" – FIS).

A. Realizacija fazi modela

Modeli na bazi fazi logike dobijeni su na osnovu 25 različitih režima obrade (eksperimenata). Izabrani tip metode zaključivanja je mamdani, što znači da je izlazna veličina procesa fuzzy skup. Broj funkcija pripadnosti svake ulazne promenljive (brzina, pomak, dubina i VB) je 5. Izabrani tipovi funkcija pripadnosti su gbellmf (f-je u obliku zvona). Sila rezanja kao izlazna promenljiva podeljena je u 9 skupova. Za formiranje pravila koristi se svaki pojedinačan eksperiment, npr. eksperiment pod rednim brojem 1. predstavlja prvo pravilo, pod rednim brojem 2. drugo itd.

1. AKO je (brzina niža) i (pomak niži) i (dubina niža) i (VB niža) ONDA sila Fx je A
2. AKO je (brzina viša) i (pomak niži) i (dubina niža) i (VB niža) ONDA sila Fx je B

Rezultati dobijeni primenom mamdani fazi sistema zaključivanja, uz pomoć pravila koja su definisana na osnovu eksperimentalnih podataka, pokazuju slaganje sa rezultatima eksperimenta. Kod određivanja sile Fx prosečno odstupanje iznosi 4.3 %, kod sile Fy prosečno odstupanje 5.9 %, i za silu Fz iznosi 4.4 %. Prosečne greške ukazuju da izabrani tipovi funkcija pripadnosti (gbellmf), tip mehanizma zaključivanja po metodi MIN - MAKS i izabrana defazifikaciona metoda centroid (centar gravitacije) predstavljaju dobar izbor.

V. REZULTATI EXPERIMENTALNIH ISTRAŽIVANJA I OBRADA PODATAKA

Rezultati eksperimentalnih istraživanja i obrade podataka po četvorofaktornom planu eksperimenta kao i fazi model prikazani su u tabeli 2.

TABELA II. EKSPERIMENTALNE VREDNOSTI, VREDNOSTI NA BAZI ČETVORFAKTORNOG MODELA DRUGOG REDA I FAZI MODELA VEŠTAČKE INTLIGENCIJE

R.br.	Eksperimentalne vrednosti			Model na bazi plana experimenta			Fazi model (mamdani)		
	Fx [N]	Fy [N]	Fz [N]	Fx [N]	Fy [N]	Fz [N]	Fx [N]	Fy [N]	Fz [N]
1.	530	440	260	531,4	416,5	236,7	556	562,10	277,503
2.	440	380	200	531,4	410,5	203,3	483,50	415,20	225,677
3.	730	560	280	740,5	572,3	284,7	802,50	562,10	275,980
4.	650	520	220	690,6	533,7	244,5	672	562,10	217,748
5.	1010	770	240	1023,8	805,1	287,7	1049	754,20	226,716
6.	950	730	250	954,7	792,0	247,1	947,50	754,20	223,211
7.	1380	1000	270	1426,8	1106,2	346,0	1295,50	980,20	276,532
8.	1350	1350	350	1330,5	1089,6	297,2	1295,50	1341,80	341,955
9.	650	580	410	627,0	519,3	376,1	672	550,80	433,598
10.	580	530	310	584,7	511,5	323,0	556	550,80	342,141
11.	850	730	440	893,8	713,5	452,3	802,50	754,20	434,299
12.	870	700	420	814,8	702,8	388,5	802,50	675,10	434,163
13.	1215	1060	435	1209,1	1003,7	457,2	1295,50	980,20	433,835
14.	1090	910	360	1126,6	988,6	392,7	1049	980,20	342,498
15.	1560	1250	500	1683,7	1379,1	549,8	1513	1341,80	488,658
16.	1470	1500	480	1570,0	1358,4	472,2	1513	1454,80	488,680

17.	920	730	340	907,9	747,8	3279,7	947,50	754,20	338,064
18.	970	780	375	976,4	759,7	386,3	947,50	754,20	339,537
19.	880	740	220	847,0	736,6	283,5	802,50	754,20	219,349
20.	685	590	290	652,2	544,9	274,4	672	562,10	274,520
21.	1370	1080	430	1265,8	1027,9	396,5	1295,50	980,2	434,378
22.	1890	1440	460	1747,2	1443,6	400,6	1846,50	1341,80	433,674
23.	820	650	260	774,9	605,5	216,7	802,50	675,10	273,864
24.	1070	880	600	1061,1	920,5	510,1	1049	980,20	583,875
25.	490	370	240	473,1	388,5	271,6	483,50	415,20	223,494
Prosečna greška E (%)				4,86	6,76	5,54	4,35	5,94	4,41

Za četvorofaktorni model drugog reda neophodno je 30 eksperimenata. Zbog toga bilo je izvedeno jos dodatnih 5

eksperimenata. To su eksperimenata sa ponavljanjem i prikazani su u tabeli 3.

TABELA III. VREDNOSTI PONAVLJANJA EXPERIMENTA U PLANU EXPERIMENTA

R.br.	Eksperimentalne vrednosti			Model na bazi plana experimenta		
	Fx [N]	Fy [N]	Fz [N]	Fx [N]	Fy [N]	Fz [N]
26.	940	780	380	907,9	747,8	329,7
27.	900	700	370	907,9	747,8	329,7
28.	950	740	360	907,9	747,8	329,7
29.	930	760	335	907,9	747,8	329,7
30.	920	730	340	907,9	747,8	329,7

VI. ZAKLJUČAK

U prvoj fazi izvršeno je modeliranje sila rezanja Fx, Fy i Fz pomoću neuro-fazi sistema (sugeno). Vrednosti su uporedjene sa četvorofaktornim modelom drugog reda. Model na bazi fazi logike daje manju grešku. Ovi modeli imaju mogućnost predviđanja sila rezanja.

Ovi modeli mogu poslužiti za mnoga dalja istraživanja kao polazna baza podataka.

Eksperimentalna istraživanja bi trebalo nastaviti u pravcu obuhvatanja što većeg broja podataka, šireg dijapazona režima obrade i uzimanjem u obzir većeg broja uticajnih parametara, radi formiranja modela na bazi fazi logike

ZAHVALNICA

Prikazani rezultati su deo projekta TR35015 koje finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] P. Kovač, D. Milikić, "Teorija obradnih procesa," Univerzitetski udžbenik, FTN Izdavaštvo Novi Sad, p. 285, 2014.
- [2] Hsieh CH, Chou JH and Wu YJ, "Optional predicted fuzzy controller of a constant turning force system with fixed metal removal rate," J. Mater. Process Technol., Vol. 123(1), 2002, pp. 22-30.
- [3] Huang S-J. and Shy C-Y, (1999) "Fuzzy logic for constant force control of end milling," IEEE Trans. Ind. Electron., Vol. 46(1), 1999, pp.169-176.
- [4] Lian R-J, Lin B-F and Huang J-H, "Self-organizing fuzzy control of constant cutting force in turning," Int. J. Adv. Manuf. Technol., Vol. 29(5), 2005, pp.436-445.

- [5] M. Sekulić, D. Rodić, P. Kovač, M. Gostimirović and B. Savković. "ANFIS predicting of the cutting forces in face milling hardened steel," MIT&SLIM, 2011.
- [6] P. Kovac, D. Rodic, V. Pucovsky, B. Savkovic, and M. Gostimirovic, "Application of fuzzy logic and regression analysis for modelling surface roughness in face milling. Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 24, 2013, pp.755-762.
- [7] P. Kovač, D. Rodić, V. Pucovski, I. Mankova, B. Savkovic, and M. Gostimirović, "A review of artificial intelligence approaches applied in intelligent processes," Journal of Production Engineering. Vol. 15(1), pp.1-4.

ABSTRACT

Modelling of cutting forces is one of the main problems of the theory of cutting. A large number of cutting parameters have influence on cutting forces (cutting speed, feed, depth of cut, tool wear, the characteristics of the workpiece, etc ...), which causes difficulty in developing appropriate models. The paper presents the basic concepts of fuzzy logic to model cutting forces. Implemented were two models: fuzzy logic and the other based on the plan of the experiment. As a model input parameters were used: cutting speed, feed, depth of cut and tool wear. Cutting forces Fx, Fy and Fz are used as the output parameters of the model. After modeling was performed testing and comparison of model results and thus determined their suitability.

FUZZY LOGIC MODELING OF CUTTING FORCES DURING MILLING

Pavel Kovač
 Dragan Rodić
 Borislav Savković
 Dušan Ješić
 Dušan Golubović