

ADAPTIVNO VODENJE PROCESA OBLIKOVNEGA FREZANJA Z UPORABO NEVRONSKIH MREŽ

Uroš Župerl, Edi Kiker
Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo
Smetanova 17, 2000 Maribor
uros.zuperl@uni-mb.si

*Adaptive control of ball-end milling process
by using neural networks*

Abstract: The contribution discusses the use of neural networks in modeling and adaptively controlling the process of ball-end milling. The basic control principle is based on the control scheme consisting of two neural identifiers of the process dynamics and primary regulator. This is an adaptive control system controlling the cutting force and maintaining constant roughness of the surface being milled by digital adaptation of cutting parameters.

1 Uvod

Pomanjkljivost modernih CNC sistemov je, da se rezalni parametri kot so podajanje, rezalna hitrost in globina reza, še vedno programirajo v off-line načinu. Rezalni parametri so običajno izbrani pred obdelavo na osnovi programerjevih izkušenj in tehnoloških priročnikov. Da bi preprečili poškodbe in se izognili lomu orodja, so rezalni pogoji običajno izbrani ekstremno konzervativno. Zato so mnogi CNC sistemi neučinkoviti in obratujejo pri rezalnih pogojih, ki so daleč od optimalnih.

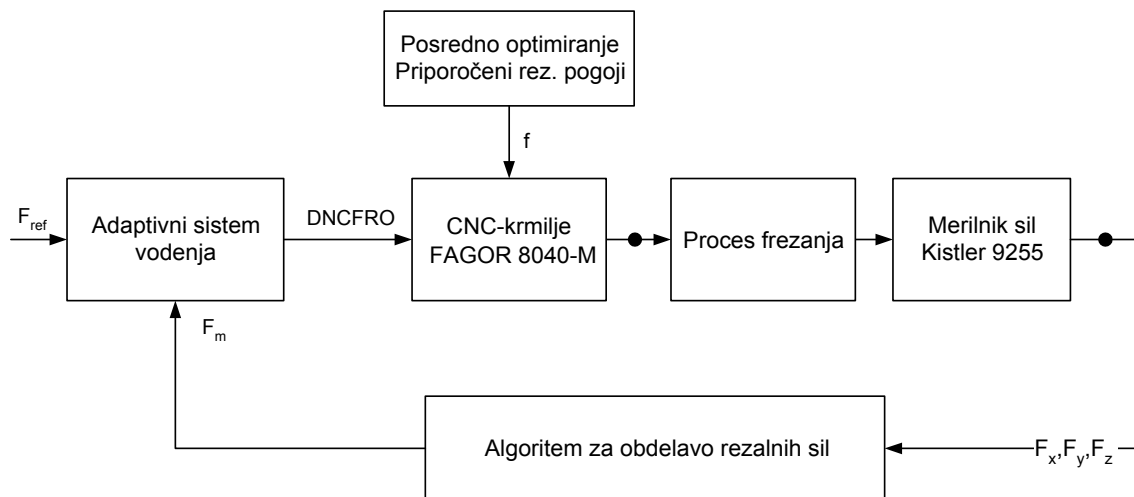
Da bi zagotovili kvaliteto obdelanih kosov, zmanjšali stroške obdelave in povečali učinkovitost obdelave, je potrebno prilagajati rezalne parametre v realnem času tako, da so izpolnjeni optimalni kriteriji obdelave [1]. Zato raziskovalci intenzivno preučujejo adaptivne sisteme vodenja (AC), ki omogočajo on-line prilagajanje rezalnih pogojev [2, 3, 4]. V našem AC sistemu se podajanje nastavlja v on-line načinu z namenom, da se ohranja konstantna rezalna sila kljub spremembam rezalnih pogojev. V središču te raziskave je regulacija

maksimalne sile pri 4-osni CNC obdelavi z uporabo off-line optimiranih hitrosti podajanja in adaptivnega vodenja. V raziskavi je razvit nevronske adaptivni sistem vodenja in izvedeno je nekaj eksperimentov z nevronske krmiljem.

2 Sistem za in adaptivno regulacijo rezalne sile med frezanjem

Osnovna zamisel tega pristopa je združiti algoritem posrednega optimiranja rezalnih pogojev in regulator rezalnih sil (slika 1). Na osnovi takega kombiniranega sistema vodenja je možno lažje in natančneje nadzorovati komplicirane procese kot s standardnimi pristopi vodenja. Sistem vodenja se z adaptacijo podajanja avtomatsko prilagaja trenutnim rezalnim razmeram. Kadar so obremenitve vretena majhne, sistem poveča podajanje preko predprogramiranih vrednosti, kar ima za posledico znatno zmanjšanje časa obdelave in proizvodnih stroškov. Kadar so obremenitve vretena velike, se podajanje zmanjšajo, kar zavaruje rezalno orodje pred poškodbami in lomom. Kadar sistem zazna ekstremne sile, avtomatsko zaustavi stroj, da zaščiti rezalno orodje. Spodaj je podano zaporedje korakov pri on-line optimizaciji postopka frezanja.

1. Priporočeni rezalni pogoji se določijo z lastno-razvitim softverom za izbiro priporočenih rezalnih pogojev [5].
2. Priporočene vrednosti podajanja, se nato pošljejo CNC krmilju frezalnega stroja.
3. Izmerjene rezalne sile se posredujejo nevronske krmilni shemi.



Slika 1: Zgradba sistema za adaptivno nastavljanje rezalnih parametrov

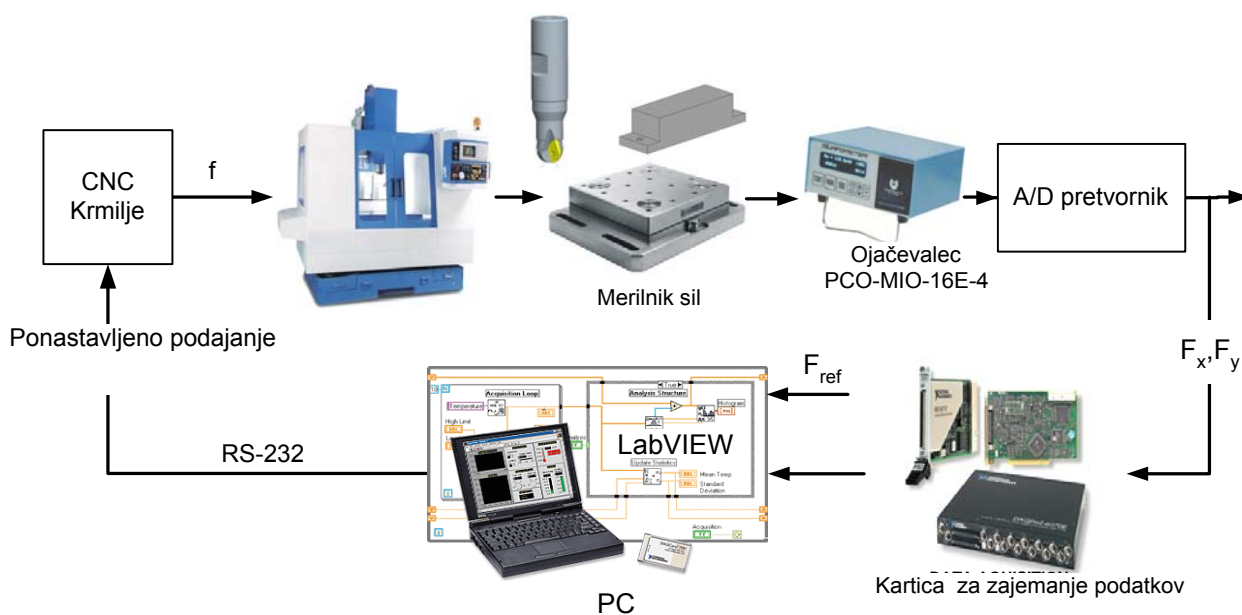
4. Nevronska krmilna shema prilagodi optimalne vrednosti podajanja in jih pošlje nazaj stroju. Dejanska vrednost podajanja je produkt popravka podajanja (DNCFRO) in programirane stopnje podajanja.
5. Koraki 1 do 3 se ponavljajo do konca obdelave.

3 Sistem za zajemanje podatkov in eksperimentalna oprema

Slika 2 prikazuje opremo za zajemanje podatkov, ki se sestoji iz dinamometra, vpenjalne priprave in softverskega modula.

Rezalne sile so izmerjene s piezo-električnim dinamometrom (Kistler 9255) nameščenim med obdelovancem in mizo stroja.

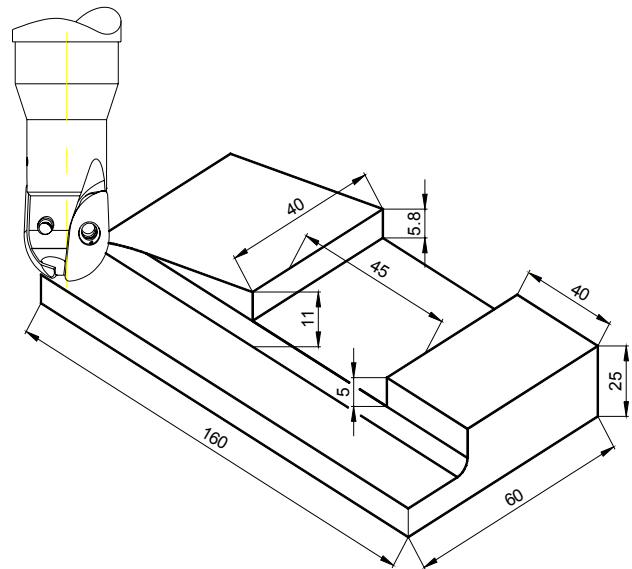
Modul vmesnikove strojne opreme je sestavljen iz povezovalnega bloka, modula za obdelavo analognega signala in 16-kanalnega analogno-digitalnega A/D pretvornika (PC-MIO-16E-4). V A/D pretvorniku bo analogni signal pretvorjen v digitalni signal, tako da softver LabVIEW lahko sprejme in prebere podatke. S programom LabVIEW so nato električne napetosti pretvorjene v X, Y in Z komponento sil.



Slika 2: Eksperimentalna oprema

Za obdelavo izberemo oblikovno frezalo z izmenljivimi rezalnimi ploščicami tipa R216-16B20-040 z dvema rezalnima robovoma, premera 16 mm in s kotom vijačnice 10° . Izbrali smo rezalno ploščico R216-16 03 M-M s cepilnim kotom 12° . Material rezalne ploščic je P10-20 oplaščen s TiC/TiN, z oznako GC 1025. Material rezalne ploščic je P10-20 oplaščen s TiC/TiN, z oznako GC 1025. Komunikacija med sistemom vodenja in NC krmiljem stroja je izvedena preko RS-232 protokola. Spremenljivka popravka podajanja DNCFRO je na razpolago sitemu vodenja s frekvenco 1 kHz.

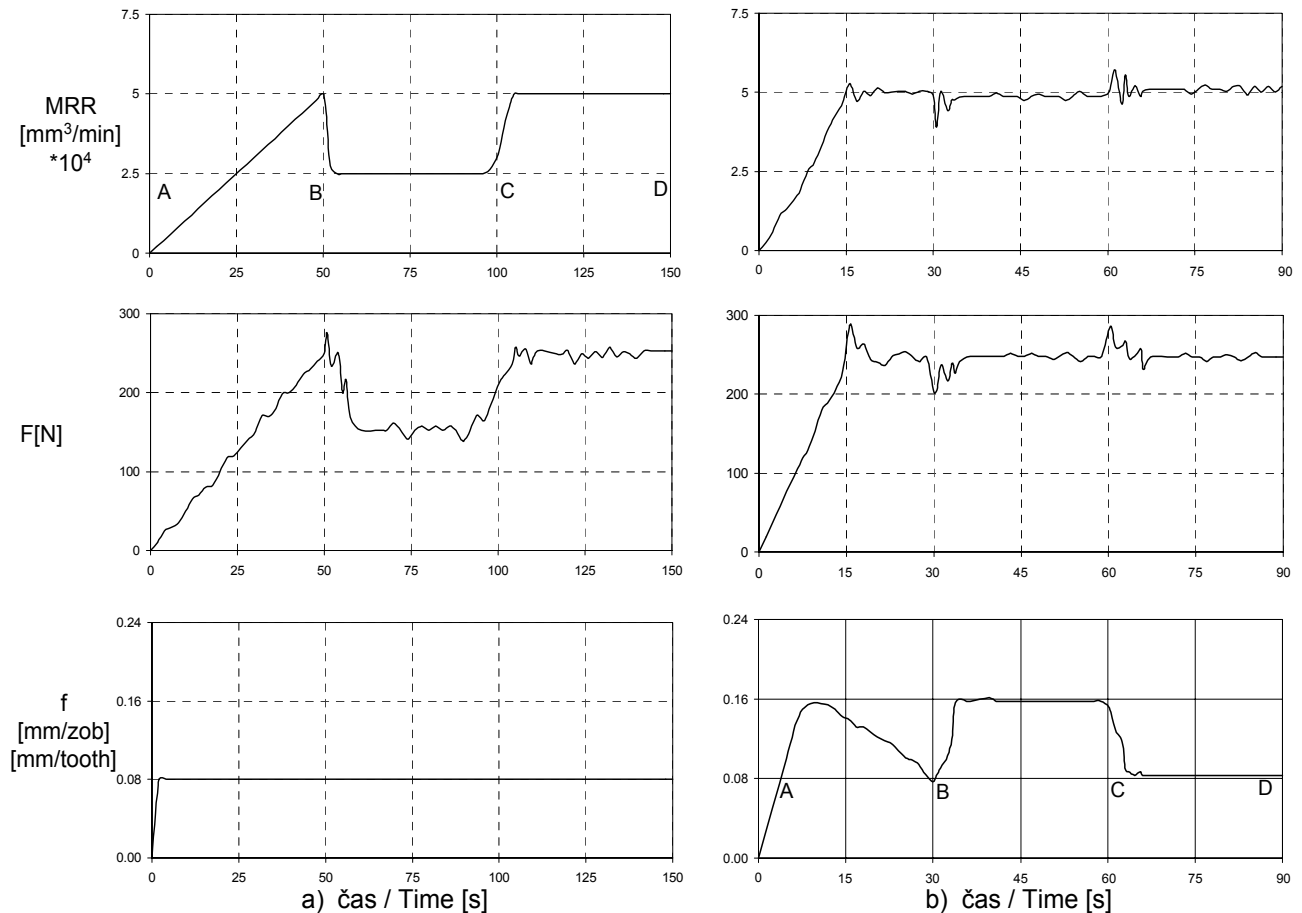
za jekleni obdelovanec Ck 45 z neenakomernim profilom (glej sliko 3).



4 Testiranje adaptivnega sistema vodenja

Da bi preverili stabilnost in robustnost predlagane strategije vodenja, sistem najprej analiziramo s simulacijami na LabVIEW-ovem simulatorju Simulink [1]. Nato sistem testiramo na CNC frezalnem stroju (tipa HELLER BEA1)

Slika 3: Profil prizmatičnega obdelovanca



Slika 4: Odziv MRR, rezultirajoče rezalne sile in podajanja. a) Klasično frezanje. b) Frezanje z adaptivnim vodenjem

Z eksperiment izberemo naslednje rezalne pogoje [6]: širina frezanja $R_D=3$ mm, globina frezanja $A_D=2$ mm in rezalna hitrost $v_c=80$ m/min. Pri adaptivnem vodenju uporabimo iste parametre kot v eksperimentih pri klasičnem frezanju.

Želena rezalna sila je 280 N [7], predprogramirano podajanje je 0.08 mm/zob in njegovo dovoljeno nastavljivo območje [0-150%].

5 Rezultati in diskusija

V prvem eksperimentu s konstantnim podajanjem (klasično frezanje- slika 4a) doseže MRR maksimalno vrednost šele v zadnjem odseku obdelave. Medtem ko v drugem preizkusu (slika 4b) obdelujemo isti obdelovanec s pomočjo adaptivne regulacije, kjer se povprečna dosežena vrednost MRR bolj približa maksimalni vrednosti.

Če primerjamo sliki 4a in 4b vidimo, da se rezalna sila pri sistemu frezanja z nevronskega vodenjem ohranja v bližini vrednosti 280 N in da je podajanje od točke C do D skoraj identično kot pri klasičnem frezanju.

Od točke A do točke C je vrednost podajanja pri adaptivnem sistemu frezanja višja kot pri klasičnem CNC sistemu, zato se učinkovitost adaptivnega frezanja izboljša. Eksperimentalni rezultati kažejo, da je mogoče MRR izboljšati za 27%. Eksperimentalni rezultati pokažejo, da ima postopek frezanja z zasnovanim adaptivnim sistemom vodenja veliko robustnost, stabilnost in je bolj učinkovit kot pri uporabi standardnih regulatorjev.

Raziskava je pokazala, da ima nevronska sistem vodenja znatne prednosti v primerjavi s klasičnim regulatorji. Prva prednost je, da lahko učinkovito uporabi več senzorskih informacij pri planiranju in izvajanju aktivnosti vodenja kot industrijski regulator [8]. Druga prednost je, da nevronskega sistem hitro reagira na kompleksne senzorske vhode, medtem ko je hitrost izvajanja sofisticiranih regulacijskih algoritmov pri klasičnem regulatorju mnogo manjša.

6 Zaključek

V prispevku je predstavljen sistem adaptivnega vodenja, ki z digitalnim nastavljanjem rezalnih parametrov regulira rezalno silo in ohranja konstantno hrapavost frezane površine. Uporabnost metodologije je eksperimentalno demonstrirana in preizkušena na 4-osnem CNC frezalnem stroju Heller. Rezultati eksperimentov kažejo, da ima razviti sistem visoko robustnost in globalno stabilnost. Eksperimenti so potrdili učinkovitost adaptivnega sistema vodenja, ki se kaže v izboljšani kvaliteti površine in manjši obrabi orodja. V tem članku je predlagana zgradba on-line določevanja optimalnih rezalnih pogojev uporabljena pri oblikovnem frezanju, vendar je očitno, da je sistem možno razširiti na druge obdelovalne stroje, in jim na ta način povečati učinkovitost.

7 Literatura

- [1] U. Župerl, F. Čuš, *Optimization of cutting conditions during cutting by using neural networks*, Robot. comput. integr. manuf., Vol. 19, 2003, pp. 189-199.
- [2] M. Tomizuka, J.H. Oh, D.A. Dornfeld, *Model Reference Adaptive Control of the Milling Process*, Proceedings of the Symposium on Manufacturing on Manufacturing Process and Robotic Systems, New York 1983, pp. 55-63.
- [3] Y. Liu, L. Zuo, C. Wang, *Intelligent adaptive control in milling process*, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol. 12, 1999, pp. 453-460.
- [4] Y.S. Tang, S.T. Hwang, Y.S. Wang, *Neural network controller for constant turning force*, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 34, 1994, No. 4, pp. 453-460.
- [5] F. Čuš, J. Balič, *Optimization of cutting process by GA approach*. Robot. comput. integr. manuf. Vol. 19, 2003, pp. 113-121.
- [6] B. Muršec, F. Čuš, J. Balič, *Organization of tool supply and determination of cutting conditions*, J. mater. process. technol, Vol. 100, 2000, pp. 241-249.
- [7] J. Kopač, *Rezalne sile in njihov vpliv na gospodarnost obdelave = Cutting forces and their influence on the economics of machining.*, Stroj. vestn. Vol. 3, 2002, pp. 121-132.
- [8] L.M. Zhang, *Model of Artificial Neural Network and its Application*, Fudan University Publishing House, 1992.