

Jakovljević, Ž., Petrović, B. P.

## PREPOZNAVANJE PREKIDA U PROCESU REZANJA PRIMENOM VORONOI DIJAGRAMA

**Rezime:** Prepoznavanje klase pojava koje se manifestuju kao nagli prekid u procesu rezanja izuzetno je značajno sa aspekta upravljanja obradnim sistemom. U ovom radu se izlaže koncept mašine za prepoznavanje prekida u procesu rezanja koja je zasnovana na Voronoi dijagramu. Proces obučavanja izvršen je na osnovu rezultata klasterovanja dobijenih FSD (Feature Space Deformation – deformacija prostora obeležja) algoritmom. Predložena metodologija je eksperimentalno verifikovana.

**Ključne reči:** Prepoznavanje oblika, Voronoi dijagrami, rezanje

## RECOGNITION OF CUTTING PROCESS STOP BASED ON VORONOI CELLS

**Abstract:** Recognition of class of phenomena, which are represented as abrupt stop in cutting process is extremely important from the machining system control point of view. This paper gives a concept of machine for recognition of such phenomena in turning based on Voronoi cells. Teaching process is performed using FSD (Feature Space Deformation) algorithm. Proposed methodology is experimentally verified.

**Key words:** Pattern recognition, Voronoi cells, turning

### 1. UVOD

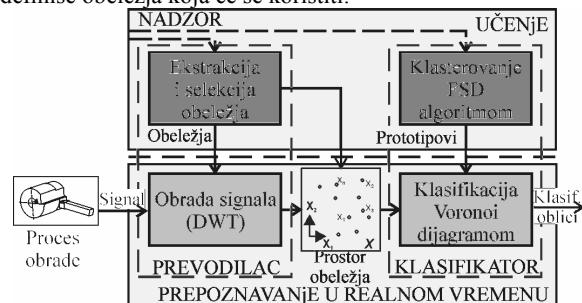
Savremene maštne bi trebalo da poseduju mogućnost procesiranja različitih senzorskih ulaza, da budu autonomne i u stanju da same donose odluke. Među različitim aspektima inteligencije maštne alatke, praćenje (monitoring) procesa rezanja je jedno od najvažnijih [1].

Proces rezanja je izrazito dinamičan proces na koji utiču različite pojave kao što su sam proces stvaranja strugotine, dinamički odzivi elemenata mašinskog sistema (maštne, alata, obratka), habanje alata i drugi procesi u samoj zoni rezanja, ali i van nje. Posebnu klasu pojava koje mogu dovesti do različitih nepovoljnijih posledica u toku procesa obrade predstavljaju nagle promene koje se odigravaju u kratkim vremenskim intervalima. U njih spadaju različite vrste loma alata, oštećenja obratka kao i druge slične pojave. Prepoznavanje ovakvih pojava sa ciljem upravljanja obradnim sistemom i procesom obrade je od izuzetnog značaja. U ovom radu se daje koncept maštne za prepoznavanje prekida u procesu rezanja koji je eksperimentalno verifikovan na primeru prekidnog struganja.

### 2. KONCEPT MAŠINE ZA PREPOZNAVANJE

Prepoznavanje oblika podrazumeva klasifikaciju fizičkih objekata u određene klase na osnovu njihovih obeležja koja se formiraju merenjem određenih parametara. Svaki fizički objekat  $q$  se predstavlja vektorom obeležja  $[x_1(q), \dots, x_p(q)]$  koji se naziva oblik i predstavlja tačku u višedimenzionom prostoru obeležja. Na taj način se objekat prevodi iz fizičkog u apstraktни matematički domen u kome se vrši klasifikacija. Klasifikacijom se oblici dobijeni procesom prevodenja na osnovu međusobne sličnosti svrstavaju u određenu grupu – klase. Za meru sličnosti pojedinih oblika može se uzeti njihova distanca u hiperprostoru obeležja. Koncept maštne za prepoznavanje oblika koja se predlaže u ovom radu prikazan je na slici 1. Pored podele na modul za prevodenje iz fizičkog u matematički domen i modul za klasifikaciju, mašina je podjeljena i na modul za učenje i modul za prepoznavanje u realnom vremenu na osnovu prethodno stečenog znanja. Učenje se vrši pod nadzorom i sastoji se iz dva dela – modula za ekstrakciju i selekciju obeležja i modula za klasterovanje.

Uloga modula za ekstrakciju i selekciju obeležja je da definiše obeležja koja će se koristiti.



Slika 1. Koncept maštne za prepoznavanje oblika

#### 2.1. Voronoi dijagrami

Generalno, klasifikacija može biti sa nadzorom ili bez njega [2]. Kod klasifikacije sa nadzorom klase su unapred definisane svaka od njih je opisana reprezentativnim oblikom – prototipom  $c_i$  koji predstavlja centar klase. Klasifikacija svakog novog oblika se vrši na osnovu njegove distance u odnosu na prototipove pojedinih klasa. Oblik pripada onoj klasi čijem prototip je najbliži.

Voronoi dijagramima se prostor na osnovu unapred zadatih centralnih tačaka deli na određene oblasti – ćelije. Sve tačke u okviru jedne ćelije su bliže datoj centralnoj tački nego svim ostalim centralnim tačkama. Imajući u vidu da je u slučaju Euklidove distance geometrijsko mesto tačaka koje su podjednako udaljene od dve tačke prava, to su Voronoi ćelije podejmene pravim linijama. Na osnovu podele prostora obeležja na Voronoi ćelije prema prototipovima definisanim učenjem može se vršiti klasifikacija u realnom vremenu. Voronoi dijagramima se vrši neuniformno strukturiranje prostora obeležja koje je naročito bitno kod višedimenzionih prostora obeležja gde se tipično vrši ortogonalna particija.

#### 2.2 FSD algoritam klasterovanja

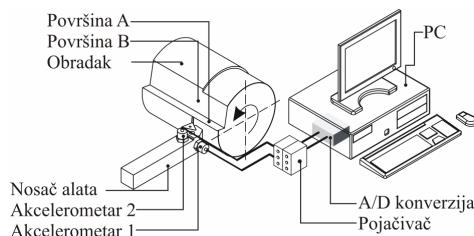
Klasterovanje podrazumeva klasifikaciju bez nadzora gde prototipovi nisu unapred zadati. Cilj je otkriti sličnost između oblika na raspolaganju i na osnovu sličnosti ih grupisati. Klasterovanje se može koristiti kao algoritam učenja kojim će se definisati klase i prototipovi za dalju klasifikaciju sa nadzorom. U ovom radu je određivanje prototipa  $c_i$  koji će

kasnije biti upotrebljeni za formiranje Voronoi celija (učenje), zasnovano na FSD (Feature Space Deformation – deformacija prostora obeležja) algoritmu klasterovanja [4]. FSD algoritam je zasnovan na ideji da svaki oblik  $x_k$  svojim potencijalnim poljem  $P_k$  deformeši prostor obeležja. Modeliranje potencijalnog polja se vrši pomoću Gausove funkcije. Ukupna deformacija prostora obeležja  $\Phi$  predstavlja sumu parcijalnih deformacija  $P_k$ . Intenzitet ukupne deformacije je korelisan sa rasporedom oblika - ukupna deformacija će biti najveća na mestu gde je gustina oblika najveća. U skladu sa tim, tačka u kojoj je maksimum funkcije  $\Phi$  uzima se za centar prvog klastera  $c_1$ . Centar drugog klastera se dobija kada se oduzme uticaj prvog i novi oblik koji je sada najbliži maksimumu funkcije  $\Phi$  se uzme za centar drugog klastera  $c_2$ . Data procedura se ponavlja sve dok se ne identifikuju svi prisutni klasteri. Broj klastera nije unapred zadat.

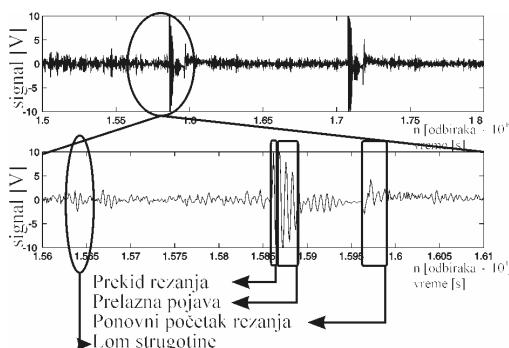
Prototipovi određeni FSD algoritmom predstavljaju osnovu za definisanje Voronoi dijagrama. Particija FSD algoritmom je podacima vođena - proces/objekat preko svojih U/I preslikavanja direktno utiče na particiju prostora obeležja.

### 3. EKSPERIMENTALNA VERIFIKACIJA

Eksperimentalna postavka za verifikaciju predložene mašine za identifikaciju prekida u procesu rezanja prikazana je na slici 2. Obrađivan je deo koji ima žljeb u obliku dve ravne međusobno upravne površine. Na površini A dolazi do naglog prestanka procesa rezanja, a na površini B rezanje se ponovo uspostavlja. U ovom radu cilj je prepoznati trenutak ponovnog ulaska alata u proces rezanja. Tokom eksperimenta vršeno je snimanje vibracija na nosaču alata. Deo snimljenog signala je prikazan na slici 3. Na osnovu snimljenog signala potrebno je formirati dovoljno reprezentativne i diskriminativne vektore obeležja koji će omogućiti razlikovanje trenutka ponovnog ulaska u proces rezanja od pojava koje se takođe preslikavaju u velike amplitude vibracija kao što su lomljenje strugotine, izlaz iz procesa rezanja i sl. Pošto se posmatrane pojave preslikavaju u nagle promene u signalu kao osnova za formiranje obeležja odabrana je diskretna vejlvet transformacija (DWT) dobijenog signala vejlvetom Daubechies 2 – ‘db2’ [3]. Na osnovu DWT dekompozicije signala formirana su obeležja data relacijama (1) koja su prikazana na slici 4.



Slika 2. Eksperimentalna postavka

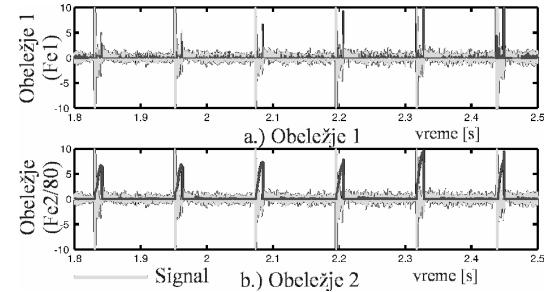


Slika 3. Deo snimljenog signala sa akcelerometra 2

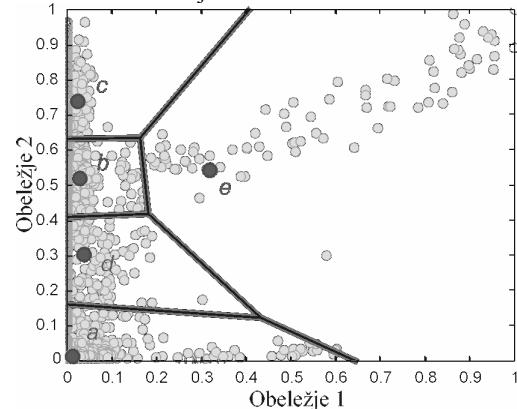
$$\begin{aligned} \text{OBELEŽJE 1: } & (diff(a_3(n)) > 0) \cdot (-sign(a_3(n-1))) < 0 \\ \text{OBELEŽJE 2: } & (RMS(a_3, 100))^2 \cdot (-sign(a_3)) < 0, \end{aligned} \quad (1)$$

pritom  $a_3$  predstavlja koeficijente aproksimacije na trećem nivou DWT dekompozicije signala, operator  $diff$  označava razliku dva susedna odbirka,  $sign$  je signum funkcija, a  $RMS$  (Root mean square) je srednja kvadratna vrednost odbiraka.

Oblici formirani na osnovu prikazanih obeležja su prikazani u prostoru obeležja datom na slici 5. Na istoj slici su prikazani i centri klastera identifikovani tokom obučavanja korišćenjem FSD algoritma. Klasteri  $b$ ,  $c$  i  $d$  odgovaraju periodu prekida rezanja, klaster  $e$  odgovara trenucima kada se ponovo ulazi u proces rezanja, dok klaster  $a$  odgovara svim ostalim oblicima. Na osnovu identifikovanih centara klastera formiran je odgovarajući Voronoi dijagram koji se dalje može koristiti za prepoznavanje u realnom vremenu u toku rada.



Slika 4. Izabrana obeležja



Slika 5. Particija prostora obeležja Voronoi dijagramom

### 4. ZAKLJUČAK

U radu je dat koncept mašine za prepoznavanje prekida u procesu rezanja koja vrši podacima vođenu particiju na koju utiče sam proces preko U/I preslikavanja. Predložena mašina za prepoznavanje je verifikovana na primeru prekidnog struganja, ali ona poseduje generička svojstva. Izborom odgovarajućih obeležja i dodatnim obučavanjem moguće je formirati Voronoi dijagrame za prepoznavanje različitih pojava koje se manifestuju kao prekidi u procesu rezanja.

### 5. LITERATURA

- [1] Byrne, G., Dornfeld, D., Denkena, B. Advancing Cutting Technology. Annals of the CIRP, 52/2, 483–507, 2003
- [2] Jain, A., K., Duin, P., W., Mao, J., Statistical Pattern Recognition: A Review, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 22/1, pp. 4-37, 2000.
- [3] Petrović, P., B., Jakovljević, Z., Intelligent Real-time Cutting Tool Condition Monitoring Based on DWT and Fuzzy Force Pattern recognition, Mechatronics and Robotics 2004, Vol III, pp. 1078-1083, Aachen, 2004.
- [4] Petrović, P.B. A Fast One-Pass Algorithm for Data Driven Fuzzy Pattern Recognition. International Journal of Fuzzy Systems, 4/2, pp. 680–688., 2002

**Autori:** mr Živana Jakovljević, Prof. dr Petar B. Petrović, Mašinski fakultet u Beogradu, Katedra za proizvodno mašinstvo, Kraljice Marije 16, Tel.: +381 11 3302-236, E-mail: [zjakovljevic@mas.bg.ac.yu](mailto:zjakovljevic@mas.bg.ac.yu), [pbpetrovic@mas.bg.ac.yu](mailto:pbpetrovic@mas.bg.ac.yu)