

## **32. JUPITER KONFERENCIJA**

# **ZBORNİK RADOVA**

## **PROCEEDINGS**

25. simpozijum  
**CIM U STRATEGIJI TEHNOLOŠKOG  
RAZVOJA INDUSTRIJE PRERADE METALA**



19. simpozijum  
**CAD/CAM**

28. simpozijum  
**NU – ROBOTI –FTS**

34. simpozijum  
**UPRAVLJANJE PROIZVODNOM U  
INDUSTRIJI PRERADE METALA**

12. simpozijum  
**MENADŽMENT KVALITETOM**

Organizator:

**MAŠINSKI FAKULTET UNIVERZITETA U BEOGRADU**

Zlatibor, maj 2006.

## **32. JUPITER KONFERENCIJA**

### **ZBORNİK RADOVA**

Organizator:

**MAŠINSKI FAKULTET UNIVERZITETA U BEOGRADU**

Adresa:

Kraljice Marije 16, 11120 Beograd, Srbija i Crna Gora

Tel: 011-3370341, Fax: 011-3370364

**El. pošta: [jupiter@mas.bg.ac.yu](mailto:jupiter@mas.bg.ac.yu)**

Tehnički urednici:

Prof. dr Ljubodrag Tanović

Doc. dr Radovan Puzović

Mr Mihajlo Popović

Nenad Nešić, dipl. maš. ing.

Zlatibor, maj 2006.

---

Tiraž: 200 primeraka

Štampa: **Planeta print**,

11000 Beograd, Ruzveltova 10, tel.: 011 3088 129

**ISBN 86-7083-557-6**

**NU – ROBOTI –FTS**  
**NC - ROBOTS – FMS**

<b>Glavonjić, M., Milutinović, D., Živanović, S.</b> TROOSNI PARALELNI MEHANIZAM SA SPECIFIČNIM REŠENJIMA PASIVNOG TRANSLATORNOG ZGLOBA .....	3.1
<b>Lukić, L., Jaraković, I.</b> RAZVOJ FORMING MAŠINA SA MIKROPROCESORSKIM UPRAVLJANJEM .....	3.5
<b>Lazarević, I., Miljković, Z.</b> PRIMENA OPC SERVERA U AKVIZICIJI STANJA TEHNOLOŠKIH SISTEMA .....	3.9
<b>Mijanović Markuš, M.</b> PROGRAMABILNI AUTOMATIZACIONI KONTROLER BUDUĆNOST U INDUSTRIJSKOM UPRAVLJANJU .....	3.13
<b>Nedić, N., Dihovični, Đ.</b> STABILNOST SISTEMA SA RASPODELJENIM PARAMETRIMA NA KONAČNOM INTERVALU OPISANIH JEDNAČINAMA OBLIKA .....	3.17
<b>Dihovični, Đ., Nedić, B.</b> STABILNOST SISTEMA NA KONAČNOM PROSTORNOM INTERVALU SISTEMA SA RASPODELJENIM PARAMETRIMA SA DISTRIBUIRANIM UPRAVLJANJEM .....	3.21
<b>Lazarević, M.</b> MODELIRANJE I SIMULACIJA ELEKTROMEHANIČKIH ROBOTSkih SISTEMA POGONJENIH JEDNOSMERNIM MOTORIMA U MATLAB OKRUŽENJU .....	3.25
<b>Petrović, P., Jakovljević, Ž.</b> OPTIMIZACIJA GEOMETRIJE PUŽNOG VRETENA EKSTRUDERA ZA ISTISKIVANJE ELASTOMERA - DEO I: Analitički model .....	3.29
<b>Petrović, P., Jakovljević, Ž.</b> OPTIMIZACIJA GEOMETRIJE PUŽNOG VRETENA EKSTRUDERA ZA ISTISKIVANJE ELASTOMERA - DEO II: Primer optimizacije pužnog vretena ekstrudera D250 .....	3.39
<b>Jakovljević, Ž., Petrović, P.</b> PREPOZNAVANJE PREKIDA U PROCESU STRUGANJA PRIMENOM LINEARNOG KLASIFIKATORA .....	3.47
<b>Slavković, R., Jugović, Z., Golubović, D.</b> PRIMER REŠENJA FUNDIRANJA TEHNOLOŠKE OPREME U SPECIFIČNIM USLOVIMA RADNE SREDINE .....	3.51
<b>Vasić, Ž., Kalajdžić, M.</b> UTICAJ ZAVOJNE BURGJE NA DINAMIČKO PONAŠANJE MAŠINSKOG SISTEMA .....	3.55

**NU – ROBOTI –FTS - 2. STRANA**

**← NAZAD**

Ž. Jakovljević, P. B. Petrović<sup>1</sup>

## PREPOZNAVANJE PREKIDA U PROCESU STRUGANJA PRIMENOM LINEARNOG KLASIFIKATORA

### Rezime

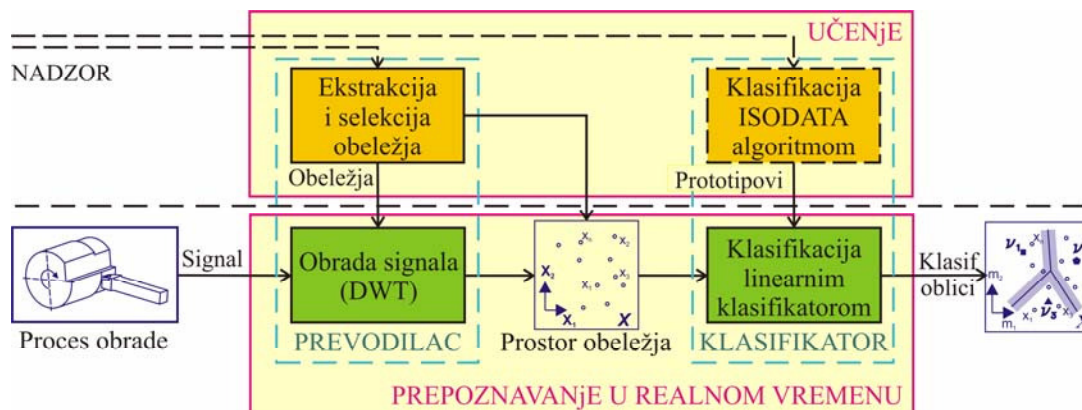
Klasa pojava koje se manifestuju kao nagli prekid u procesu rezanja (kao što su različiti tipovi loma alata, defekti u materijalu obratka i sl.) mogu dovesti do neželjenih posledica u procesu obrade. Stoga je prepoznavanje ovakvih pojava izuzetno značajno sa aspekta upravljanja obradnim sistemom. U ovom radu se izlaže koncept mašine za prepoznavanje prekida u procesu rezanja. Predložena mašina za prepoznavanje oblika je zasnovana na linearnom klasifikatoru. Proces obučavanja linearnog klasifikatora izvršen je na osnovu rezultata klasterovanja dobijenih ISODATA algoritmom. Za ekstrakciju obeležja relevantnih za klasifikaciju upotrebljena je diskretna vejljet transformacija. Predložena metodologija je eksperimentalno verifikovana.

### 1. UVOD

Proces rezanja je izrazito dinamičan proces koji se sastoji od različitih pojava kao što su sam proces stvaranja strugotine, dinamički odzivi elemenata mašinskog sistema (mašine, alata, obratka), habanje alata, stvaranje i nestajanje naslage i drugi procesi u samoj zoni rezanja, ali i van nje. Posebnu klasu pojava koje mogu dovesti do različitih nepovoljnih 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 mašine za prepoznavanje prekida u procesu rezanja koji je eksperimentalno verifikovan na primeru prekidnog struganja

### 2. KONCEPT MAŠINE ZA PREPOZNAVANJE

Prepoznavanje oblika podrazumeva svrstavanje fizičkih objekata u određene klase na osnovu njihovih obeležja. Obeležja (kvantitativna i kvalitativna) se formiraju merenjem određenih parametara fizičkih objekata. Na taj način se ustvari vrši preslikavanje fizičkih objekata iz fizičkog u apstraktni matematički domen, tj svaki fizički objekat  $q$  se predstavlja vektorom obeležja  $[x_1(q), \dots, x_p(q)]$  koji se naziva oblik [5]. Svaki oblik (vektor obeležja) predstavlja tačku u višedimenzionom prostoru obeležja. Pri tom se oblici koji su sličniji nalaze na manjem međusobnom rastojanju u odnosu na one oblike koji su međusobno različiti. To znači da se klasifikacija objekata koja sledi nakon prevođenja može vršiti na osnovu distance između oblika (tačaka u prostoru obeležja) koji ih predstavljaju.



Slika 1. Koncept mašine za prepoznavanje oblika

<sup>1</sup> Mr Živana Jakovljević, dipl.ing.maš. Mašinski fakultet u Beogradu, e-mail: [zjakovljevic@mas.bg.ac.yu](mailto:zjakovljevic@mas.bg.ac.yu)  
Prof. dr Petar B. Petrović, dipl.ing.maš. Mašinski fakultet u Beogradu, e-mail: [pbpetrovic@mas.bg.ac.yu](mailto:pbpetrovic@mas.bg.ac.yu)

Koncept mašine za prepoznavanje oblika koja se predlaže u ovom radu prikazan je na slici 1. Pored podele na modul za prevođenje iz fizičkog u apstraktni matematički domen i modul za klasifikaciju, mašina je i vertikalno podeljena na dva modula - modul za učenje i modul za prepoznavanje u realnom vremenu na osnovu znanja stečenog pomoću modula za učenje.

Učenje je izuzetno značajan element, vrši se pod nadzorom i sastoji se od dva modula – modula za ekstrakciju i selekciju obeležja i modula za klasterovanje. Modul za ekstrakciju i selekciju obeležja definiše rad prevodioca iz fizičkog domena u prostor obeležja. Ekstrakcija obeležja predstavlja određivanje obeležja (merenih veličina i njihovih derivata) koje će na što je moguće bolji način okarakterisati objekat koji je potrebno prepoznati. Ne postoje uopštena pravila za ekstrakciju obeležja, a koja će obeležja biti ekstrahovana zavisi od klasifikacije koja sledi. Često se može ekstrahovati izuzetno veliki broj obeležja relevantnih za klasifikaciju koja sledi, a mnoga od njih su međusobno korelisana. Veliki broj obeležja vodi ka velikoj dimenziji prostora obeležja, a dalje i ka komplikovanim algoritmima za klasifikaciju. Zato je neophodno iz skupa svih relevantnih ekstrahovanih obeležja izvršiti selekciju najmanjeg broja onih koja su istovremeno i relevantna i diskriminativna i koja će voditi ka brzjoj, ali istovremeno i kvalitetnoj klasifikaciji.

Nakon prevođenja sledi klasifikacija. Klasifikacijom se oblici dobijeni procesom prevođenja na osnovu međusobne sličnosti svrstavaju u određena grupe – klase. Pošto svaki oblik predstavlja tačku u hiperprostoru osobenosti za meru sličnosti pojedinih oblika može se uzeti njihova distanca u ovom hiperprostoru. Najrasprostranjenija je Euklidova distanca data sa:

$$d_2(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = \left( \sum_{k=1}^p (x_{i,k} - x_{j,k})^2 \right)^{1/2} = \|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j\|_2 \quad (1)$$

gde su  $\mathbf{x}_i$  i  $\mathbf{x}_j$  dva oblika, a  $p$  je dimenzija prostora obeležja.

Generalno klasifikacija može biti sa nadzorom ili bez njega [6]. Klasifikacija sa nadzorom podrazumeva da postoje podaci za učenje, tj. da postoji određen skup a priori klasifikovanih oblika na osnovu kojih će se formirati algoritam za klasifikaciju novoprispelih oblika u realnom vremenu. Jedan od ovakvih klasifikatora je i linearni klasifikator koji će biti upotrebljen u ovom radu.

### 2.1. Linearni klasifikator

Linearni klasifikatori su najjednostavniji klasifikatori sa aspekta primene i direktno su povezani sa Euklidovom distancom [2].

Naime, svaka klasa se može opisati određenim reprezentativnim oblikom – prototipom  $\mathbf{c}_i$ . Prototip predstavlja centar klase. Kod klasifikacije sa nadzorom prototipovi  $\mathbf{c}_i$  su unapred poznati. Oni su zadati a priori ili se do njih došlo procesom učenja na osnovu datog skupa oblika za obučavanje. Klasifikacija svakog novog oblika se vrši na taj način što se određuje njegova distanca u odnosu na prototipove pojedinih klasa. Oblik pripada onoj klasi čijem centru klase (prototipu) je najbliži. Ako su date dve klase sa centrima  $\mathbf{c}_1$  i  $\mathbf{c}_2$ , relacija na osnovu koje se vrši klasifikovanje oblika  $\mathbf{x}$  je data sa:

$$\|\mathbf{x} - \mathbf{c}_1\| \rho \|\mathbf{x} - \mathbf{c}_2\| \quad (2)$$

Ako je  $\rho$  operator  $<$ , onda oblik  $\mathbf{x}$  pripada klasi 1, a u suprotnom on pripada klasi 2. Dati algoritam zaključivanja se može lako ekstrapolirati na veći broj klasa.

Granica odlučivanja je data relacijom (2) u kojoj je  $\rho$  operator  $=$ . Ona predstavlja geometrijsko mesto tačaka koje su jednako udaljene i od jednog i od drugog centra klase. Za slučaj Euklidove distance ova granica je linearna i u dvodimenzionom prostoru osobenosti predstavljena je pravom.

### 2.2 ISODATA algoritam klasterovanja

Klasterovanje podrazumeva klasifikaciju bez nadzora [3]. Kod ove klasifikacije ne postoji skup podataka za obučavanje i prototipovi nisu unapred zadati. Cilj je otkriti sličnost između oblika koji su na raspolaganju i na osnovu sličnosti ih grupisati (klasterovati). Broj grupa (klastera) može, ali i ne mora biti unapred poznat što zavisi od izabranog algoritma za klasterovanje. Klasterovanje se može koristiti kao algoritam kojim će se odrediti skup za obučavanje za dalju klasifikaciju sa nadzorom. U ovom radu će proces učenja, tj. određivanja prototipova  $\mathbf{c}_i$  koji će kasnije biti upotrebljeni za formiranje linearnog klasifikatora, biti zasnovan na ISODATA algoritmu klasterovanja.

ISODATA algoritam [1] je zasnovan na minimiziranju ciljne funkcije date sa:

$$J_W(\mathbf{U}, \mathbf{c}) = \sum_{i=1}^c \left( \sum_{\mathbf{x}_k \in U} \|\mathbf{x}_k - \mathbf{c}_i\|_2^2 \right) \quad (3)$$

gde su  $\mathbf{c}_i$  centri klastera,  $c$  broj klastera koji je unapred zadat,  $\mathbf{U}$  je particiona matrica dimenzija  $c \times N$  gde je  $N$  broj vektora koji se klasteruju pri čemu je  $u_{ij}=1$  ako  $j$ -ti vektor pripada  $i$ -tom klasteru, a  $u_{ij}=0$  u suprotnom. Funkcija  $J_W$  će imati malu vrednost ako su tačke unutar klastera bliske, tj. kada su njihova rastojanja od centra klastera mala. Pritom se centar klastera određuje sa:

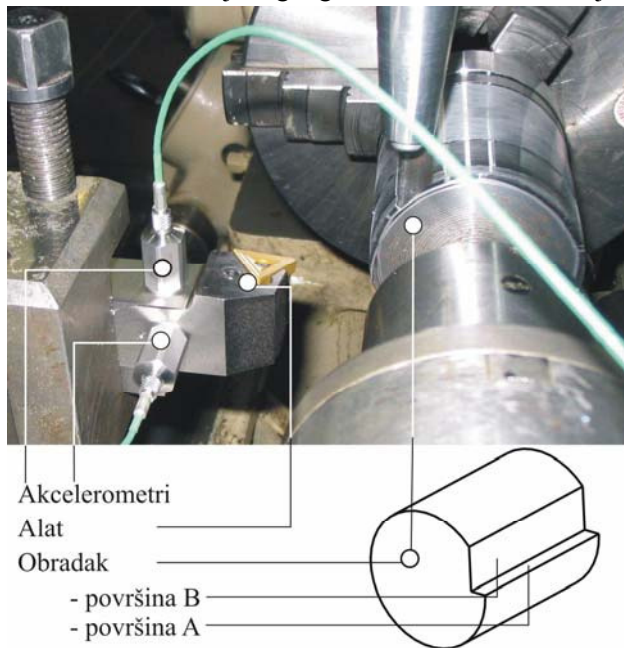
$$\mathbf{c}_i = \frac{\sum_{k=1}^N u_{ik} \mathbf{x}_k}{\sum_{k=1}^N u_{ik}} \quad (4)$$

Optimizacioni problem se svodi na određivanje  $\mathbf{U}$  i  $\mathbf{c}_i$  za koje se minimizira ciljna funkcija  $J_W$  data relacijom (3). Ovaj problem nema analitičko rešenje i rešava se iterativno. Prototipovi određeni ISODATA algoritmom predstavljaju osnovu za definisanje linearnog klasifikatora.

### 3. EKSPERIMENTALNA VERIFIKACIJA

Eksperimentalna postavka za verifikaciju predložene mašine za identifikaciju prekida u procesu rezanja prikazana je na slici 2. Obradivan je deo koji ima žljeb u obliku dve ravne međusobno upravne površine. Na površini A dolazi do naglog prestanka procesa rezanja. Eksperiment je izveden u Zavodu za mašine alatke Mašinskog fakulteta u Beogradu na produkcionom strugu Hasse&Wrede. Tokom eksperimenta vršeno je snimanje vibracija na nosaču alata, kao veličine koja je u korelaciji sa silom rezanja. Vibracije su snimane u dva međusobno upravna pravca pomoću piezoelektričnih pretvarača ubrzanja. Pri akviziciji frekvencija odabiranja je bila 10KHz po kanalu, a signal je digitalizovan na 12 bita. Obrada je vršena pomoću strugarskog noža sa umetkom od tvrdog metala proizvodnje firme **Corun ad** iz Užica.

Deo snimljenog signala sa akcelerometra je prikazan na slici 3. Kao što se vidi izlaz alata iz procesa rezanja se preslikava u nagli porast amplitude vibracija u kratkom vremenskom intervalu (što predstavlja diskontinuitet u signalu) koji je praćen oscilacijama izazvanim prelaznom pojavom. Na osnovu snimljenog signala potrebno je formirati vektore obeležja koji će biti dovoljno reprezentativni i diskriminativni i koji će omogućiti razlikovanje trenutka izlaska iz procesa rezanja od pojava koje se takođe preslikavaju u velike amplitude vibracija kao što su lomljenje strugotine, ponovni ulazak u proces rezanja, oscilacije usled prelazne pojave nakon samog izlaska alata i sl [5].



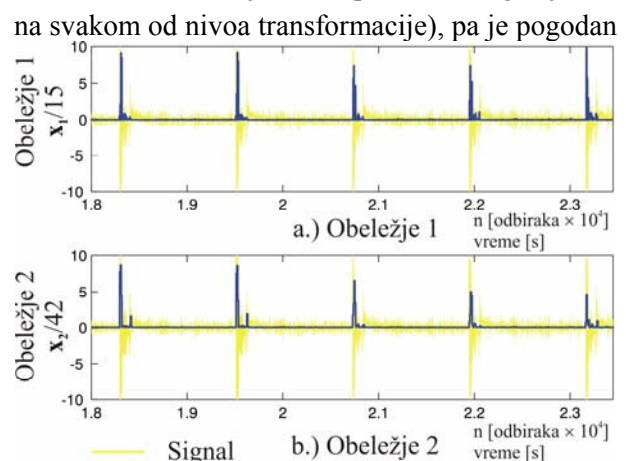
Slika 2. Eksperimentalna postavka za verifikaciju predložene mašine za prepoznavanje



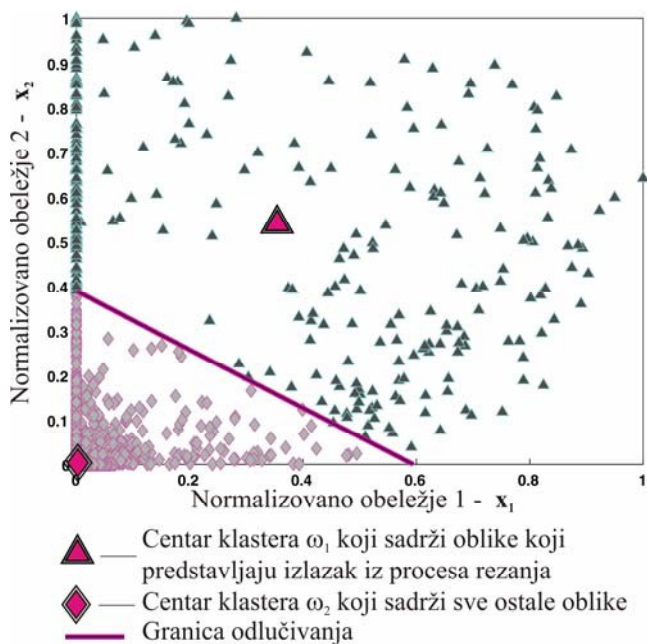
Slika 3. Deo snimljenog signala

Imajući u vidu gore navedeno, kao osnova za formiranje obeležja odabrana je diskretna vejevlet transformacija (DWT) dobijenog signala vejevletom Daubechies 2 – ‘db2’ [4]. Vejevlet ‘db2’ je nesimetričan i definisan na konačnom intervalu pa je pogodan za detekciju i vremensku lokalizaciju diskontinuiteta u signalu. Pored toga, njegov impulсни odziv je male dužine (potreban je bafer od samo 4 odbirka za izračunavanje DWT pomoću ovog vejevleta

na svakom od nivoa transformacije), pa je pogodan



Slika 4. Izabrana obeležja



Slika 5. Centri klastera dobijeni ISODATA algoritmom i granica odlučivanja

$$\begin{aligned} \text{ako je } \mathbf{x}_2 > -0.6542 \cdot \mathbf{x}_1 + 0.3889 & \quad \mathbf{x} \in \omega_1 \\ \text{ako je } \mathbf{x}_2 < -0.6542 \cdot \mathbf{x}_1 + 0.3889 & \quad \mathbf{x} \in \omega_2 \end{aligned} \quad (7)$$

gde su  $\omega_1$  i  $\omega_2$  oznake klasa datih na slici 5.

#### 4. ZAKLJUČAK

U radu je dat koncept mašine za prepoznavanje naglih promena u procesu rezanja. Predložena mašina za prepoznavanje je verifikovana na primeru prekidnog struganja, ali ona poseduje generička svojstva. Naime izborom odgovarajućih obeležja i daljim procesom obučavanja moguće je formirati linearne klasifikatore za prepoznavanje različitih pojava među kojima su razni tipovi loma alata, defekti u materijalu obratka i sl. što zahteva dalja istraživanja.

#### 5. LITERATURA

- [1] Bezdek, J., C., Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms, Plenum Press, New York, 1981
- [2] Fukunaga, K., Introduction to Statistical Pattern Recognition, ISBN 0-12-269851-7, Elsevier Academic Press, San Diego, 1990
- [3] Jain, A., K., Duin, P., W., Mao, J., Statistical Pattern Recognition: A Review, IEEE Transactions on Pattern Analysis and machine Intelligence, Vol. 22, No. 1, pp. 4-37, January 2000.
- [4] Jakovljević, Ž., Petrović, P., B., Primena vejtlet transformacije u detekciji diskontinuiteta u signalu, 30. JUPITER konferencija, Zbornik radova, pp. 4.17-4.22., Beograd, april 2004.
- [5] Petrovic, P., B., Jakovljevic, Z., Intelligent Real-time Cutting Tool Condition Monitoring Based on Discrete Wavelet Transform and Fuzzy Force Pattern recognition, Mechatronics and Robotics 2004, Proceedings, Vol III, pp. 1078-1083, APS European Centre for Mechatronics, Aachen, 2004.
- [6] Theodoridis, S., Koutroumbas, K., Pattern Recognition, ISBN 0-12-685875-6, Elsevier Academic Press, San Diego, 2003

### RECOGNITION OF DISCONTINUITIES IN TURNING USING LINEAR CLASSIFIER

#### Summary

*A class of phenomena represented as abrupt stop in cutting process can lead to different undesirable consequences in manufacturing process. Thus, the recognition of such phenomena 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. Proposed machine for pattern recognition is based on linear classifier. Teaching process is preformed using ISODATA algorithm. For extraction of features relevant for classification discrete wavelet transform is used. Proposed methodology is experimentally verified.*